

ผลของความหนาและวิธีการบูรณะต่อความแข็งแรงในระดับจุลภาคของเรซินมอดิไฟด์กลาสไฟเบอร์
เมอร์ซีเมนต์

นางสาวชุตติมา ศรีวณิชชากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ
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.

Effects of thickness and restorative techniques on microhardness of resin-modified
glass-ionomer cements

Miss Chutima Srivanichakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Operative Dentistry

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของความหนาและวิธีการบูรณะต่อความแข็งแรงระดับจุลภาค
ของเรซินคอมโพสิตไฟดักลาสไอโอไอโนเมอร์ซีเมนต์
โดย นางสาวชุตติมา ศรีวณิชชากร
สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรารัตน์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ขวัญตา จารุอำพรพรธน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ชัยวัฒน์ มณีนุษย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. วรณธนะ สัตตบรรณสุข)

ชุดิมา ศรีวณิชชากร : ผลของความหนาและวิธีการบูรณะต่อความแข็งผิวระดับ
 จุลภาคของเรซิน มอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Effects of thickness and
 restorative techniques on microhardness of resin-modified glass-ionomer
 cements) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทญ.ดร. รังสิมา สกุกณะมรรคา , 163
 หน้า.

เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุบูรณะชนิดหนึ่งที่ใช้บูรณะในฟัน
 น้ำนม และในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการผุสูง ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีการผุที่ลึกและลุกลามได้ง่าย
 กว่าปกติ จึงเกิดการศึกษานี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ ความ
 หนาและวิธีการบูรณะต่อค่าความแข็งผิวระดับจุลภาค ซึ่งใช้ เรซินมอดิไฟด์กลาสไอ โอโน
 เมอร์ซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฟูลจี II แอลซี วิทริเมอร์ และคีแทคเอ็น 100 สร้างชิ้นงานที่
 ความหนา 2 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการ
 บูรณะ 2 วิธีคือบูรณะแบบครั้งเดียวโดยฉายแสง 1 ครั้งและความสูงของชิ้นงาน และการบูร ณะ
 แบบเป็นชั้นโดยฉายแสงทุก 2 มิลลิเมตร เวลาในการฉายแสงของแต่ละผลิตภัณฑ์ตาม
 บริษัทผู้ผลิตกำหนด จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบหาค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนที่ผิว
 ด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ที่ 4 เวลา คือ 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือนภายหลัง
 สร้างชิ้นงาน ผลการศึ กษาพบว่า ชิ้นงานที่มีการบูรณะแบบครั้งเดียวจะมีความแตกต่าง
 ระหว่างความแข็งผิวระดับจุลภาค ด้านบนกับด้านล่างอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าเรซินมอดิ
 ฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์ วิธีการบูรณะ และความหนา มีผลต่อความ
 แข็งผิวด้านบนและด้านล่าง ของชิ้นงาน ถึงแม้ เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมี
 การก่อดั้วจาก 2 ปฏิกริยา คือ ปฏิกริยากรด-ด่างและปฏิกริยาการเกิดโพลีเมอร์ซึ่งจะถูกกระตุ้น
 ด้วยแสง แต่สำหรับการผุที่มีความลึกมากกว่า 2 มิลลิเมตรควรเลือกใช้วิธีการบูรณะแบบเป็น
 ชั้นเพื่อประสิทธิภาพในการก่อดั้วที่สมบูรณของวัสดุ

ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2554.....

5276144932 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS : MICROHARDNESS / RESIN-MODIFIED GLASS-IONOMER CEMENTS
RESTORATIVE TECHNIQUES

CHUTIMA SRIVANICHAKORN : EFFECTS OF THICKNESS AND
RESTORATIVE TECHNIQUES ON MICROHARDNESS OF RESIN-MODIFIED
GLASS- IONOMER CEMENTS. ADVISOR : RANGSIMA SAKOOLNAMARKA,
163 pp.

Resin-modified glass-ionomer cements (RMGIs) is a restorative material that is suitable for use in patients with high caries risk and deciduous teeth. The cavities in these cases are deep and progress easily. The purpose of this study was to evaluate the effects of RMGIs, the thickness and the restorative techniques on the microhardness numbers. The materials (Fuji II LC[®] , Vitremer[®] and Ketac N100[®]) were placed in different thicknesses (2, 3, 4, and 5 mm.) on 4 mm-in-diameter stainless steel molds using bulk and increment techniques . For the bulk technique, each specimen was photopolymerized after the exact thickness of the material was created. For the incremental technique, the specimen was photopolymerized every 2 mm. Each specimen was photopolymerized according to the manufacturers' instructions. The microhardness of all specimens was tested by Knoop hardness indenter at 15 minutes, 1 day, 1 week and 1 month after fabrication on the top and bottom surfaces. Results showed that the average microhardness numbers in the bulk groups were significantly different between the top and the bottom surfaces. RMGIs, restorative techniques and thickness showed effects on the microhardness numbers. In order to obtain the fully polymerization of the RMGIs which is based on acid-base reaction and light initiation, the incremental technique is recommended in case of more than 2 mm. in thickness of the material is to be placed.

Department : Operative Dentistry..... Student's Signature

Field of Study : Operative Dentistry..... Advisor's Signature

Academic Year : 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.รังสิมา สกุลณะมรรคา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาจารย์ไพพรรณ พิทยานน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำด้านสถิติ และอาจารย์สาขา ทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอน มอบความรู้ และคำแนะนำในการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจักษ์วิชัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และเชื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ คำแนะนำและการดำเนินการสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาและทุกคนในครอบครัวรวมทั้งเพื่อนๆผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
คำสำคัญ.....	3
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
ข้อจำกัดในการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
รูปแบบการวิจัย.....	4
การบริหารงานวิจัยและตารางปฏิบัติงาน.....	5
รายละเอียดงบประมาณการวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
เรซินมอดิไฟด์กลาส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	7
ประสิทธิภาพของแสง.....	14
การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค.....	16

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษา.....	23
2	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของฟูจิ II แอลซี.....	37
3	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของวิทริเมอร์.....	37
4	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้าน บนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของคิแทเคเอ็น 100.	38
5	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วันหลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของฟูจิ II แอลซี.....	38
6	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของวิทริเมอร์.....	39
7	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของคิแทเคเอ็น 100....	39
8	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์หลังสร้างชิ้นงาน (T3) ของฟูจิ II แอลซี...	40
9	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์หลังสร้างชิ้นงาน (T3) ของวิทริเมอร์.....	40
10	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์หลังสร้างชิ้นงาน(T3) ของคิแทเคเอ็น100	41
11	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของฟูจิ II แอลซี....	41
12	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของวิทริเมอร์.....	42
13	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคด้านบน และล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของคิแทเคเอ็น 100	42
14	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของฟูจิ II แอลซี.....	43

15	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของวิทริเมอร์.....	43
16	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของคีแทคเอ็น 100.....	44
17	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของฟูจิ II แอลซี.....	44
18	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของวิทริเมอร์.....	45
19	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่ เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ของคีแทคเอ็น 100.....	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงปฏิกิริยากรด-ด่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อเริ่มผสมส่วนผงและส่วนเหลว.....	8
2	แสดงการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	9
3	แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	9
4	แสดงการยึดติดของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับฟัน.....	10
5	แสดงเครื่องวัดพลังงานรังสี.....	15
6	แสดงรอยกดของหัวกดเพชรรูปพีระมิดแบบวิกเกอร์ส.....	17
7	แสดงรอยกดของหัวกดเพชรรูปพีระมิดแบบนูน.....	17
8-21	แสดงการขึ้นตอนการเตรียมชิ้นงาน.....	24
22	แสดงแบบหล่อโลหะตามความสูงในแต่ละกลุ่ม.....	27
23	แสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย.....	28
24	แสดงตำแหน่งการวัดความแข็งผิวที่เวลาต่างๆ.....	29
25	แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของ ฟุจิ II แอลซี ในแต่ละกลุ่ม ที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน...	46
26	แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของ วิทริเมอร์ ในแต่ละกลุ่ม ที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน	47
27	แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวของ คีแทคเอ็น 100 ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน...	48

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งบริเวณช่องปากและใบหน้าที่ได้รับรังสีรักษา ภายหลังจากฉายรังสีต่อมน้ำลายมีความเสี่ยงต่อการถูกทำลายทำให้ผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูงขึ้น (1) นอกจากนี้ผู้ป่วยเด็ก และรอยพุ่ที่เกิดบริเวณรากฟันเป็นอีกกลุ่มเป้าหมายที่ควรได้รับการบูรณะด้วยวัสดุบูรณะที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ (2-4) ซึ่งวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเรซินมอดิไฟด์ กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์และมีการคืนกลับของฟลูออไรด์ในวัสดุได้ (5, 6)

แต่วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นมึเวลาการทำงาน (working time) ที่จำกัด เวลาในการก่อตัว (setting time) ของวัสดุในช่วงแรกใช้เวลานาน มีความไวต่อความชื้น (moisture sensitivity) มีความแข็งแรงน้อยและมีการละลายตัว (solubility) มาก (5, 7, 8) จึงมีการพัฒนาเป็นเรซินมอดิไฟด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (7) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น มีเวลาในการทำงานมากขึ้น สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ความแข็งแรงมากขึ้น การละลายตัวต่ำลงและสามารถยึดติดกับตัวฟันด้วยพันธะเคมีและพันธะทางกล สามารถปลดปล่อยและมีการคืนกลับของฟลูออไรด์ในระดับเดียวกับกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (3, 5, 9) จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งานในผู้ป่วยมีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง (6)

ผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูงมักเกิดการผุได้ง่าย มีการลุกลามรวดเร็ว และมีรอยผุลึก เมื่อใช้เรซินมอดิไฟด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ซึ่งก่อตัวด้วยการฉายแสงในการบูรณะรอยผุที่มีความลึกมาก การก่อตัวจะขึ้นกับความเข้มแสงที่สามารถผ่านไปใ้เนื้อวัสดุ ดังนั้นในระดับที่ลึกขึ้นของโพรงฟันวัสดุจะได้รับความเข้มแสงที่น้อยลงซึ่งเป็นปัญหาต่อการก่อตัวที่สมบูรณ์ของวัสดุ

ในทางคลินิกผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมีรูปแบบบรรจุภัณฑ์หลากหลาย อาทิ ในรูปแบบแคปซูลจะมีปริมาณวัสดุที่บรรจุมากเพียงพอที่จะบูรณะโพรงฟันขนาดใหญ่โดยการอุดแบบครั้งเดียว ซึ่งในบางครั้งจะมีความหนามากกว่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ซึ่งอาจมีผลต่อการก่อตัวของวัสดุเรซินมอดิไฟด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้เพื่อประเมินผลของความหนาและวิธีการบูรณะรวมทั้งระยะเวลาหลังการบูรณะต่อความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิไฟด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

คำถามการวิจัย

1. เรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่ฉายแสงที่ความหนาแตกต่างกันมีความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนกับด้านล่างแตกต่างกันหรือไม่
2. วิธีการบรูณะเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนกับด้านล่างของวัสดุหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนกับด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่ความหนาต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนกับด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่วิธีการบรูณะแตกต่างกัน

สมมติฐานการวิจัย

1. ความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่ฉายแสงที่ความหนาต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกัน
2. ความแข็งผิวระดับจุลภาคที่ด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ที่วิธีการบรูณะแตกต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลที่ได้เป็นแนวทางบ่งบอกถึงความแข็งผิวระดับจุลภาคของเรซินมอดิไฟด์ที่ฉายแสงที่ความหนาและเวลาที่แตกต่างกัน โดยความแข็งผิวระดับจุลภาคจะบอกถึงโอกาสในการเกิดการก่อตัวของวัสดุนั้น แต่การนำผลไปใช้ทางคลินิกโดยตรงต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่อาจทำให้คุณสมบัติของวัสดุแตกต่างไปจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ไม่ได้นำมาศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกันของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละชนิด

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่างๆในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย
2. ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ได้จากการทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบบรู๊น ใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที
3. ค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แสดงถึงระดับการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เนื่องจากมีการศึกษาของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เกิดการก่อตัวสูง จะมีค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคสูง

คำสำคัญ

Resin-modified glass-ionomer cement, Microhardness, Restorative technique
เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์, ความแข็งผิวระดับจุลภาค, วิธีการบูรณะ

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ชิ้นตัวอย่าง หมายถึง เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่สร้างขึ้น
ด้านบนของชิ้นงาน หมายถึง ผิวด้านหน้าของชิ้นงานที่ได้รับแสงโดยตรงจากการฉายแสง
ด้านล่างของชิ้นงาน หมายถึง ผิวด้านล่างของชิ้นงานที่อยู่ไกลแสงจากการฉายแสง

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำให้มีข้อจำกัดบางประการที่ทำให้มีความแตกต่างจากสภาวะจริงในช่องปาก เช่น ส่วนประกอบของน้ำลาย สภาวะในช่องปาก ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลาย รวมทั้งการวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะเป็นการวัดพื้นผิวบางส่วนของวัสดุเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการวิจัยครั้งนี้สรุปเป็นความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะในสภาวะการใช้งานจริงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงระดับจุลภาคที่ด้านบนและด้านล่างของซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ฉายแสงที่ความหนาต่างกัน
2. ทำให้ทราบข้อมูลความแข็งแรงระดับจุลภาคที่ด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่วิธีการบ่มระยะแตกต่างกัน

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

การบริหารงานวิจัยและตารางปฏิบัติงาน

เดือน,พ.ศ.	มี.ค.53	เม.ย.53	พ.ค.53	มี.ย.53	ก.ค.53	ส.ค.53	ก.ย.53	ต.ค.53	พ.ย.53	ธ.ค.53	ม.ค.54	ก.พ.54	มี.ค.54	เม.ย.54	พ.ค.54	มี.ย.54	ก.ค.54	ส.ค.54	ก.ย.54	ต.ค.54	พ.ย.54	ธ.ค.54	ม.ค.55	
1. ขั้นเตรียมการวิจัย																								
ศึกษาข้อมูลและ ทบทวนวรรณกรรม																								
วางแผนและ ออกแบบการวิจัย																								
การศึกษาวิจัยนำ ร่อง																								
การจัดทำโครงร่าง วิทยานิพนธ์																								
การนำเสนอโครง ร่างวิทยานิพนธ์																								
2. ขั้นดำเนินการวิจัย และเก็บรวบรวม ข้อมูล																								
3. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล และแปลผล																								
4. ขึ้นรายงานผล																								
จัดทำรายงาน																								
นำเสนอผลการวิจัย																								

รายละเอียดงบประมาณการวิจัย

ค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน
<ul style="list-style-type: none"> ● ค่าวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย <ul style="list-style-type: none"> ○ เรซินมอดิไฟด์พลาสติกไอโคโนเมอร์ซีเมนต์ พูจี II แอลซี 13,800 ○ เรซินมอดิไฟด์พลาสติกไอโคโนเมอร์ซีเมนต์ วิทริเมอร์ 12,400 ○ เรซินมอดิไฟด์พลาสติกไอโคโนเมอร์ซีเมนต์ คีแทคเอ็น 100 6,700 ○ แม่แบบขึ้นงาน 15,000 ○ หลอดนำวัสดุ 1,600 ○ กล้องเก็บขึ้นงาน 1,000 ○ กระจกสไลด์ 500 ○ สเปร์ยซิลิโคน 480 ● ค่าใช้บริการอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ <ul style="list-style-type: none"> ○ เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค 8,000 ● ค่าถ่ายเอกสาร 3,000 ● ค่าจัดทำรูปเล่มและค่าใช้จ่ายเพื่อการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร 3,000 	
รวม	65,480

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

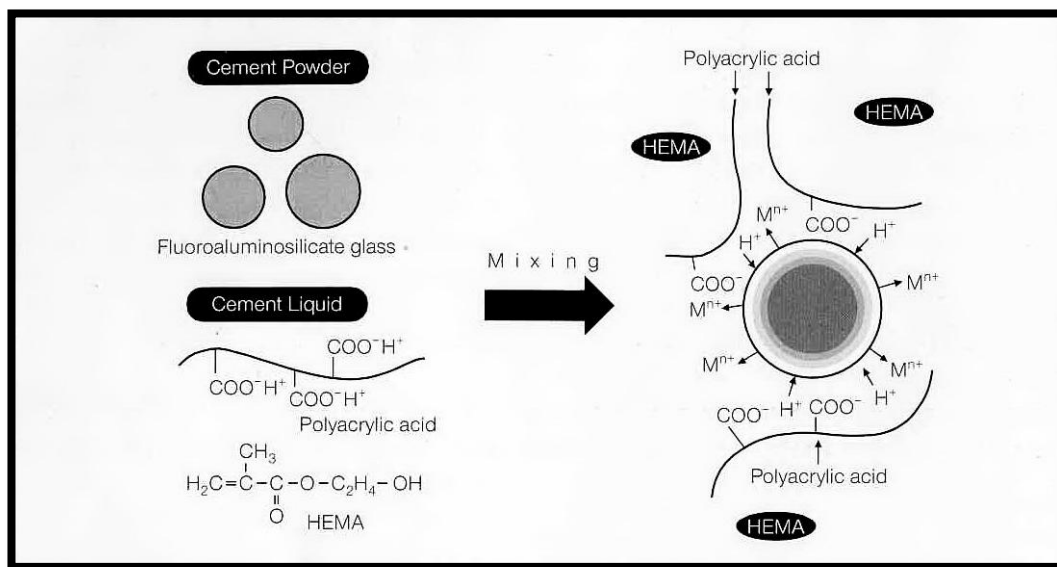
เรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่คิดค้นโดย Wilson และ Kent (10) ตั้งแต่ค.ศ.1972 เป็นวัสดุสีเหมือนฟันที่ใช้ในทางทันตกรรม แต่มีข้อเสียคือ มีเวลาการทำงานที่จำกัด เวลาในการก่อตัวของวัสดุในช่วงแรกใช้เวลานาน มีความแข็งแรงอัดในช่วงแรกต่ำ มีความไวต่อความชื้นมาก (5-8) จึงมีการพัฒนาเป็นเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ (7) เพื่อเพิ่มเวลาในการทำงานสามารถก่อตัวเริ่มแรกได้จากการฉายแสง และได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล ความแข็งแรงดัด (flexural strength) และความแข็งแรงอัด (compressive strength) ที่มากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงแรก (6, 8, 11) การละลายตัวลดลง (12) ลดความไวต่อความชื้น (moisture sensitivity) (7) ต่อมา มีการนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการผลิตเป็น เรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่มีฟิลเลอร์ในระดับนาโน เพื่อเพิ่มความสวยงาม สามารถขัดได้เงามากขึ้น รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุแต่ยังมีการปล่อยฟลูออไรด์ในระดับสูง

คำนิยามของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ คือวัสดุที่มีการก่อตัวทั้งจากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และปฏิกิริยากรด-ด่าง (13) โดยทั่วไปเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีส่วนประกอบ คือ ผงแก้วที่สามารถปลดปล่อยไอออนได้ ซึ่งผงแก้วนั้นมีส่วนประกอบของซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) อลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) โซเดียมอลูมิเนียมฟลูออไรด์ (NaAlF_6) โดยมีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 23 (3) นอกจากนี้ยังมีเม็ดสี และน้ำ ส่วนใหญ่ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยการเติมไฮโดรเมทาคริลิกที่สามารถละลายน้ำได้คือฮีมาหรือไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริลิก (HEMA; hydroxyethyl methacrylate) (5, 14) เพื่อเพิ่มเวลาในการทำงานเนื่องจากฮีมานั้นชะลอการเกิดปฏิกิริยากรด-ด่าง (7, 15) และมีตัวเริ่มปฏิกิริยาการฉายแสงจึงมีการเก็บบรรจุภัณฑ์ในขวดที่บดแสงหรือในแคปซูล (5) ซึ่งส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันออกไป

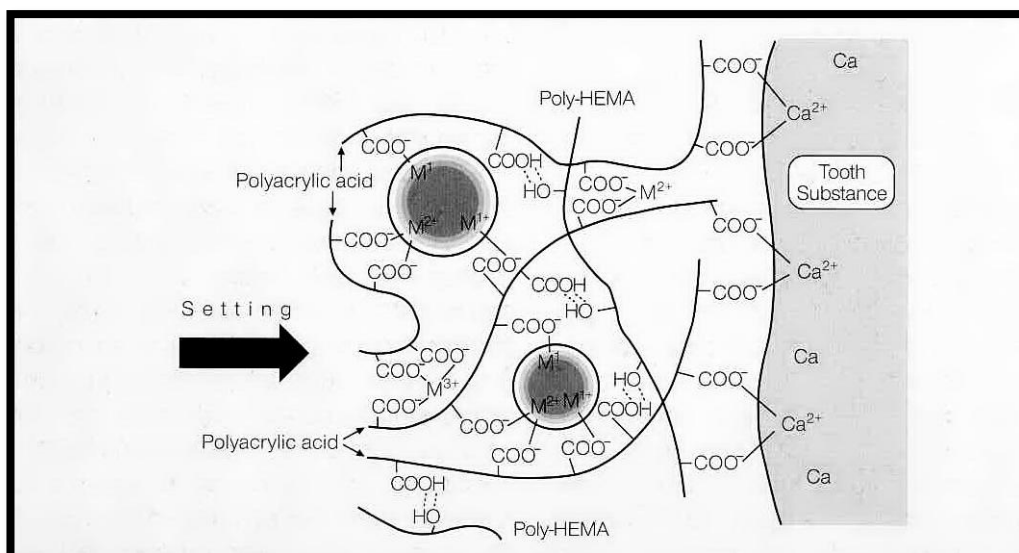
ปฏิกิริยาการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แบ่งเป็น 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยากรด-ด่างและปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ซึ่งจะถูกระตุ้นด้วยแสง โดยมีสารเริ่มปฏิกิริยาโดยแสงคือ แคมโฟควิโนน นอกจาก นี้ถ้าในเรซินมอดิไฟด์กระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีสารเริ่มต้นปฏิกิริยาเคมี (chemical initiators) เป็นส่วนประกอบ จะทำให้มีการเริ่มปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์แบบไม่ใช้แสงทันทีเมื่อเริ่มผสม (5) เรียกปฏิกิริยาการแข็งตัวระบบนี้ว่า ไตรเคียว (tri-cure)(7) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสามารถก่อตัวเป็นโพลีเมอร์ได้ต่อไปภายหลังจากการฉายแสง(8)

เมื่อผสมส่วนผงและส่วนเหลวเข้าด้วยกัน ปฏิกิริยากรด-ด่างจะเกิดขึ้นทันที โดยเริ่มจากจากกรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid) แตกตัวในน้ำได้อิออนของไฮโดรเจน (hydrogen ion) และสายโพลีอะคริเลท (polyacrylate chain) ไอออนของไฮโดรเจนจะไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกระจกทำให้เกิดการละลายของไอออนของแคลเซียม อะลูมิเนียม ฟลูออไรด์และซิลิกาออกมา ส่วนพื้นผิวของแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกระจกจะเปลี่ยนสภาพเป็นซิลิกาเจล ต่อมาไอออนของแคลเซียมและอะลูมิเนียมจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอกซิลบนสายโพลีอะคริเลทได้เกลือโพลีอะคริเลท (polyacrylate salt) ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายในการก่อตัวของวัสดุ ปฏิกิริยาจะดำเนินอย่างต่อเนื่องร่วมกับการปล่อยไอออนของฟลูออไรด์ (ภาพที่ 1)

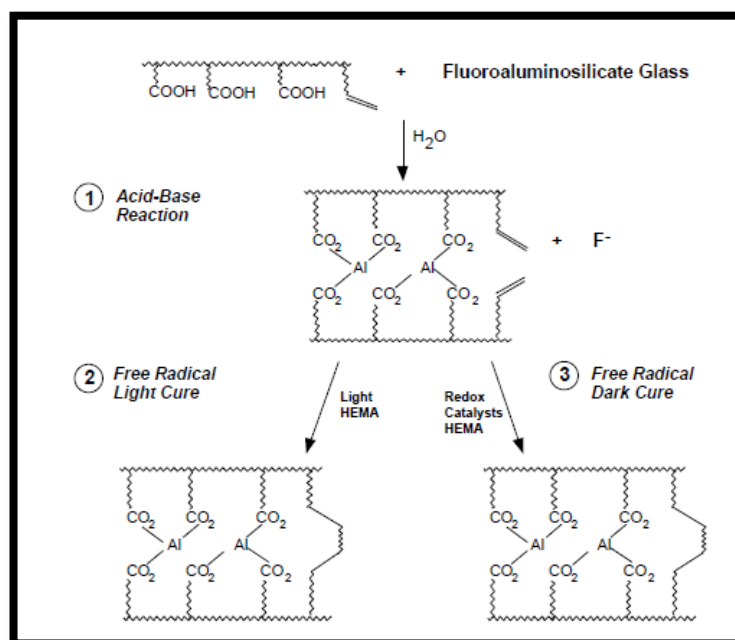


ภาพที่ 1 แสดงปฏิกิริยากรด-ด่างของเรซินมอดิไฟด์กระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อเริ่มผสมส่วนผงและส่วนเหลว (13)

ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสง เกิดฟรีเรดิเคิล (free radical) ไปกระตุ้นหมู่เมทาคริเลท (methacrylate group) ในส่วนเรซินทำให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นตาข่ายโพลิเมอร์ (polymer network) จากนั้นเกิดพันธะไฮโดรเจนโดยเชื่อมโยงระหว่างโพลิเมอร์ของซีมาทกับกรดโพลีอะคริลิก ดังภาพที่ 2 ซีมาทที่ได้รับการกระตุ้นจากแสงจนเกิดกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ จะลดความไวต่อการได้รับน้ำ (7) และพบว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวสมบูรณ์จะมีซีมาเหลืออยู่ในส่วนประกอบร้อยละ 4.5 บางบริษัทใส่เรซินที่สามารถแข็งตัวได้เอง (autocure) เมื่อเรซิน ก่อตัวแล้วจะมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนเรซินชนิดที่ใช้แสงเป็นตัวเร่ มกระตุ้น เรซินดังกล่าวจะใส่ในส่วนของเหลว เมื่อผสมส่วนผงกับส่วนเหลวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รัดกัน เพื่อเพิ่มการก่อตัวของเรซินในส่วนที่ไม่แข็งตัว (ภาพที่ 3) (15)



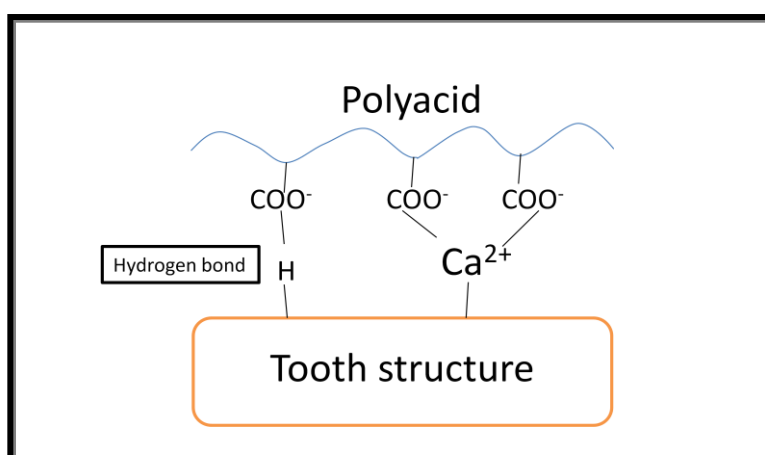
ภาพที่ 2 แสดงการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (13)



ภาพที่ 3 แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (คัดลอกจาก 3M/ESPE, St.Paul, MN, USA)

ภายหลังการฉายแสงปฏิกิริยากรด-ด่างจะเกิดช้าลง เนื่องจากวัสดุมีการก่อตัวเป็นตาข่ายโพลีเมอร์ ทำให้ไอออนต่างๆ จากกรดพลีอะคริลิก และแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกาสไอโอโนเมอร์ เวลาในการแพร่มากขึ้น การก่อตัวจะเกิดต่อเนื่องจนวัสดุก่อตัวเต็มที่ (6) ถ้าไม่มีการฉายแสงวัสดุชนิดนี้จะมีการก่อตัวภายในเวลา 15-20 นาที (5)

เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการยึดติดกับส่วนอะพาไทด์ โดยเกิดจากกรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid) ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาสัมผัสกับตัวฟัน เริ่มการยึดติดโดยไอออนของโพลีอะคริลิกเชื่อมกับไอออนของแคลเซียมบนโครงสร้างอะพาไทด์หรือเกิดการเชื่อมกับโครงสร้างอะพาไทด์โดยการแทนที่ไอออนของแคลเซียมหรือฟอสเฟต ส่วนไอออนของฟอสเฟตและแคลเซียมที่เคลื่อนที่ออกมานั้นจะเกิดเป็นชั้นไอออนเอเนริช (ion-enriched layer) ซึ่งเป็นการยึดติดด้วยพันธะเคมี เช่นเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (5, 15) ส่วนการยึดติดกับเนื้อฟันจะเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างคอลลาเจนและไอออนของโพลีอะคริลิก (5) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แสดงการยึดติดของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับฟัน (5)

เนื่องจากวัสดุชนิดนี้จะมีการยึดโดยตรงกับฟันโดยพันธะเคมีดังนั้นการยึดติดของวัสดุจะเกิดได้ดีในบริเวณที่สะอาด ก่อนการบูรณะจึงต้องมีการปรับสภาพโพรงฟัน เพื่อกำจัดชั้นเสมียร์ที่ เกิดภายหลังการกรอตัดฟัน ในอดีตสารปรับสภาพฟันผิว (conditioner) ใช้กรดซิตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่ให้ผลการยึดติดไม่ดี ในปัจจุบันแนะนำให้ใช้ กรดโพลีอะคริลิกร้อยละ 10 ในการปรับสภาพโพรงฟัน โพรงฟันที่ปรับสภาพจะมีพลังงานพื้นผิวสูงเหมาะกับการยึดติดและการก่อตัวของวัสดุ ต่อมามีการเปรียบเทียบการปรับสภาพโดยใช้กรดโพลีอะคริลิกร้อยละ 10 ร่วมกับใช้ไปรบอนดีไพรมเมอร์ (Probond dentine adhesive) เปรียบเทียบกับการไม่ปรับสภาพฟันโพรงฟัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการรั่วซึมของขอบวัสดุ (16) มีการศึกษาถึงการใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 35 กับกรดโพลีอะคริลิกร้อยละ 10 ในการปรับสภาพโพรงฟันพบว่าการยึดติดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (17) การเตรียมสภาพโพรงฟันก่อนการบูรณะนั้นมีการศึกษาความขึ้นก่อนการนำวัสดุเข้าสู่โพรงฟัน พบว่าเกิดการรั่วซึมเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเป่าโพรงฟันให้แห้งสนิทก่อนการบูรณะด้วยเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโน

เมอร์ซีเมนต์ (18) การใช้เลเซอร์ในการเตรียมโพรงฟันเปรียบเทียบกับการใช้หัวกรอรั่ว มกับการใช้สารปรับสภาพโพรงฟัน (กรดโพลีอัลคีนอิกร้อยละ 20) พบว่า การใช้สารปรับสภาพโพรงฟันให้การยึดติดที่ดีกว่าการไม่ใช้สารปรับสภาพโพรงฟัน และพบว่าการใช้สารปรับสภาพพร้อมกับการใช้หัวกรอมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้เลเซอร์ในการเตรียมโพรงฟัน (19)

เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ อาทิ ความแข็งแรงดัด (flexural strength) และความแข็งแรงอัด (compressive strength) ที่มากขึ้น (11) การละลายตัว (solubility) ลดลง (12) สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกับตัวฟัน ความแข็งแรงยึด (bond strength) กับเนื้อฟันประมาณ 6-11 MPa (7) จากการศึกษพบว่าความแข็งแรงยึดกับเนื้อฟันของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมากกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (8, 20)

คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ขึ้นกับส่วนประกอบที่เป็นน้ำ เนื่องจากผิววัสดุจะมีความไวต่อการได้รับและสูญเสีย น้ำ ซึ่งมีการศึกษาผลของสภาวะแวดล้อมในการเก็บวัสดุต่อความแข็งแรงของวัสดุทั้งความแข็งแรงกดและความแข็งแรงดึง พบว่าวัสดุที่แช่น้ำจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุที่ไม่ได้แช่น้ำ (21) เช่นเดียวกับการวัดความแข็งแรงผิว มีการศึกษาที่พบว่าวัสดุที่แช่น้ำจะมีความแข็งแรงผิวที่น้อยกว่าวัสดุที่ไม่ได้แช่น้ำ และไม่ขึ้นกับเวลาในการเก็บวัสดุซึ่งวัดความแข็งแรงผิวที่ 1 วันและ 2 เดือน (22) แต่มีบางการศึกษาที่พบว่าระยะเวลาดำเนินการหลังการบูรณะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงผิวของวัสดุ (23, 24) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ของแต่ละบริษัทมีแนวโน้มความแข็งแรงผิวที่แตกต่างกัน อาทิ การศึกษาการวัดความแข็งแรงผิวที่เวลาผ่านไป 6 เดือน พบว่า ความแข็งแรงผิวที่ผิวส่วนบนของวิทริเมอร์ (Vitremer, 3M/ESPE, St. Paul, MN, USA) มีแนวโน้มแข็งขึ้น ส่วนโฟแทคฟิล (Photac fill, 3M/ESPE, St. Paul, MN, USA) และ ฟุจิ II แอลซี (Fuji II LC, GC, Tokyo, Japan) มีแนวโน้มความแข็งแรงผิวที่ผิวส่วนบนลดลง (24) เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือนพบว่าทั้งฟุจิ II แอลซี และวิทริเมอร์ มีความแข็งแรงผิวที่ผิวส่วนบนแข็งขึ้น (25) ภายหลังจากการบูรณะ วัสดุจะค่อยๆ ก่อตัวเมื่อเวลาผ่านไป คุณสมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้นจนวัสดุก่อตัวเต็มที่ (26) และความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ 24 ชั่วโมง จนถึง 1 เดือน จากนั้นจะอยู่ในระดับเดิมจนถึง 6 เดือน (27) ความแข็งแรงดึงของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สูงกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ต่ำกว่าเรซิน คอมโพสิต เมื่อวัสดุแช่ในน้ำกลั่น (27)

รูปแบบของผลิตภัณฑ์เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในปัจจุบันมี 3 แบบ

- แบบผงกับของเหลว (Powder-liquid) (8, 15) ผลิตภัณฑ์เป็นขวดผงและขวดของเหลว เวลาใช้งานจะใช้ช้อนจากบริษัทผู้ผลิตตวงส่วนผงจากนั้นปาดส่วนเกินที่ส่วนบนของขวดเพื่อให้ได้

ปริมาณที่ถูกต้อง หยอดส่วนของเหลวและใช้พายผสม (spatula) ผสมวัสดุให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นครีมข้น นำวัสดุใส่โพรงฟันโดยตรงหรือนำวัสดุใส่หลอดฉีด เพื่อลดฟองอากาศและง่ายต่อการนำวัสดุใส่ในโพรงฟัน ข้อดีคือราคาถูก สามารถผสมได้ตามปริมาณที่ต้องการ ข้อเสียคือการทวงสารจะมีอัตราส่วนที่ผิดพลาดเมื่อผู้ตวงไม่มีความชำนาญในการใช้งาน การควบคุมเวลาในการผสมเป็นอีกหนึ่งปัญหาจึงทำให้มีการผลิตบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบอื่น ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนควรทำตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้แก่ พูจี II แอลซี, วิทริเมอร์

- แบบเพสต์/เพสต์ (paste/paste) (15) ผลิตภัณฑ์จะมีสองหลอดที่เชื่อมกัน บรรจุภัณฑ์เป็นแบบกด (clicker) เมื่อกดวัสดุจากทั้งสองหลอดจะออกมาเป็นเพสต์ในสไลด์ ส่วนที่เหมาะสมตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด ใช้พายผสมวัสดุจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำวัสดุใส่หลอดฉีดเพื่อลดฟองอากาศและง่ายต่อการนำวัสดุใส่ในโพรงฟัน ข้อดีคือผสมง่าย ใช้งานง่าย ลดความผิดพลาดในการทวงสาร ข้อเสียคือการควบคุมเวลาในการผสมไม่เที่ยงตรงเท่าแบบแคปซูล ราคาแพงกว่า แบบผงกับส่วนเหลว ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้แก่ คีแทคเอ็น 100 (Ketac N100, 3M/ESPE, St. Paul, MN, USA)

- แบบแคปซูล (capsule) (8, 15) วัสดุอยู่ในแคปซูล มีอัตราส่วนที่แน่นอน การผสมใช้เครื่องปั่น (4000รอบต่อนาที) เป็นเวลา 10 วินาที ปลายแคปซูลมีหลอดนำวัสดุเข้าสู่โพรงฟัน ข้อดีคือได้อัตราส่วนที่ถูกต้องที่สุด เวลาในการผสมคงที่ ลดขั้นตอนในการบรรจุสารเข้าหลอดฉีด ข้อเสียคือ ราคาแพง สิ้นเปลืองวัสดุ ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดได้แก่ พูจี II แอลซี

จากการศึกษาวิธีการผสม พบว่าการผสมวัสดุที่อยู่ในรูปแบบแคปซูลจะได้วัสดุที่มีรูพรุนน้อยกว่า (28) คุณสมบัติเชิงกลดีกว่าเมื่อเทียบกับการผสมโดยมือ (11) การผสมโดยการเพิ่มส่วนผสมมากขึ้นพบว่าความแข็งแรงของวัสดุลดลง ความเหนียวเพิ่มขึ้น วัสดุจะมีลักษณะแห้งไม่เหมาะสมในการใช้งาน ยึดติดกับตัวฟันได้ไม่ดี ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนของเหลวมีผลต่อการดูดน้ำมากขึ้น เนื่องจากมีส่วนผสมที่เป็นฮีมามากขึ้น (15, 29) เมื่อใช้เวลาในการผสมมากขึ้นการก่อตัวของวัสดุจะสูงขึ้นจะมีผลต่อความเหนียวของวัสดุ (14) ทำให้ยากต่อการนำวัสดุเข้าสู่โพรงฟันและมีผลต่อการยึดติดระหว่างวัสดุกับตัวฟันเนื่องจากปริมาณกรดโพลีอะคริลิกที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยาจะน้อยลง

ความลึกในการก่อตัว (depth of cure) ของวัสดุ ในช่วงแรกมีข้อจำกัดขึ้นกับการผ่านของแสงลงในเนื้อวัสดุ (8) อย่างไรก็ตามใน วัสดุที่มีปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยากรด -ด่าง จะช่วยในการก่อตัวได้อย่างต่อเนื่องภายหลังการฉายแสง จากการศึกษาของ McCabe (8) ในปี 1998 พบว่าความลึกในการก่อตัวภายหลังการฉายแสงของเรซินมอดิฟายด์กลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์อยู่ในช่วง 1.54 - 2.26 มิลลิเมตรสำหรับวัสดุร่องฟันโพรงฟัน ส่วนวัสดุบูรณะพบว่ามีการก่อตัวที่ความลึก 2.68 - 2.97 มิลลิเมตร เวลาในการฉายแสงนั้นขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตโดยอยู่ระหว่าง 20-40 วินาที

ต่อความลึกประมาณ 1.8-2 มิลลิเมตร เมื่อขยายเวลาในการฉายแสงจาก 20 วินาทีเป็น 40 วินาที พบว่าวัสดุมีการก่อตัวที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (30) แต่มีบางการศึกษาพบว่าการฉายแสงมากกว่าเวลาที่กำหนด บนเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นจะช่วยให้ ปฏิกริยากรด-ด่างเกิดช้าลงมีผลเสียต่อการก่อตัวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในช่วง 18 ชั่วโมงแรก (14) ในห้องปฏิบัติการแนะนำให้ใช้การฉายแสงที่ บริษัทผู้ผลิตกำหนดเนื่องจากไม่มีปัจจัยในเรื่องระยะห่างระหว่างปลายหลอดนำแสงกับผิววัสดุ ส่วนในทางคลินิกอาจมีการขยายระยะเวลาการฉายแสงออกไปเพื่อชดเชยปัจจัยดังกล่าว

สีของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความสัมพันธ์กับความลึกในการก่อตัวจากการศึกษาพบว่าสีที่มีความสว่างมากกว่ามีความลึกในการก่อตัวมากกว่า (30)

การศึกษาความแข็งผิวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ภายหลังการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดฮาโลเจนเป็นเวลา 40 วินาที พบว่าวัสดุไม่ก่อตัวเมื่อมีความลึกมากกว่า 5 มิลลิเมตร ความแข็งผิวที่ด้านบนมากกว่าความแข็งผิวที่ความลึก 4 และ 5 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญ (31) แนวโน้มความแข็งผิวจะลดลงเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น

การศึกษาที่เกี่ยวกับวิธีการบ่มด้วยเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นมีค่อนข้างน้อย ในที่นี้จึงจะกล่าวถึงวิธีการบ่มโพรงฟันโดยทั่วไปแบ่งเป็นการบ่มแบบครั้งเดียว (bulk technique) และแบบเป็นชั้น (increment technique)

การบ่มแบบครั้งเดียว (32) เป็นการบ่มโพรงฟันโดยการใส่วัสดุเพียงครั้งเดียวให้เต็มโพรงฟัน เหมาะกับวัสดุที่ก่อตัวโดยไม่อาศัยแสงเป็นตัวกระตุ้น หรือแสงสามารถส่องผ่านได้ลึก ระยะเวลาในการทำงานน้อย ลดการเกิดฟองอากาศ วัสดุที่เหมาะสมกับการบ่มคือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เนื่องจากมีการก่อตัวโดย ปฏิกริยากรด-ด่างและเรซินคอมโพสิตแบบเซลฟ์เคียว (self-cure)

การบ่มเป็นชั้น เป็นวิธีการบ่มโพรงฟันโดยการใส่วัสดุเป็นชั้นที่ความหนาจำกัด เพื่อการก่อตัวที่สมบูรณ์ของวัสดุโดยเฉพาะวัสดุที่อาศัยแสงในการก่อตัว หรือมีส่วนผสมของเรซินที่อาศัยแสงในการก่อตัว ความหนาในแต่ละชั้นไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (33) การบ่มเป็นชั้นอาจแบ่งได้เป็น การบ่มแนวอนกับโพรงฟัน (Horizontal technique) เป็นการบ่มเป็นชั้นในแนวอนกับโพรงฟัน (32, 34) เหมาะกับโพรงฟันขนาดเล็กเนื่องจากวิธีการบ่มนี้จะเพิ่มซีแฟกเตอร์ (C-factor) การบ่มแนวตั้งกับโพรงฟัน (Vertical technique) นำมาใช้ในการบ่มโพรงฟันคลาสไฟร์ที่มีขนาดใหญ่ แบ่งการบ่มโดยชั้นแรกอาจเลือกบ่มที่ผนังด้านบดเคี้ยวหรือที่ผนังด้าน

เห็อก ส่วนใหญ่การบูรณะแบบนี้จะใช้กับวัสดุเรซินคอมโพสิต สำหรับเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์พบว่ามีการบูรณะวิธีนี้เช่นกันแต่ไม่เป็นที่ยอมรับ (35) เนื่องจากควบคุมวัสดุได้ยาก การบูรณะโพรงฟันคลาสสิกที่ความลึกมากพบการใช้เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ร่วมกับเรซินคอมโพสิตหรือวิธีการโอเพ่นแซนวิช (open-sandwich technique) เนื่องจากเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้ดีและสามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้

มีการศึกษาการบูรณะฟันคลาสสิก โดยใช้เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ บูรณะแบบอุดครั้งเดียวให้เต็มและแบบอุดเป็นชั้นแนวตั้งกับโพรงฟัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการลดการรั่วซึม (35) สำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการศึกษาการบูรณะเป็นชั้นในแนวนอน พบว่าความแข็งแรงกดที่ได้น้อยกว่าการบูรณะครั้งเดียว โดยมีการศึกษาที่ความสูง 6 8 และ 12 มิลลิเมตรทั้งนี้ไม่ขึ้นกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุบูรณะ และพบว่าจำนวนชั้นที่แตกต่างกันไม่พบความแตกต่างของความแข็งแรงกด (36)

ประสิทธิภาพของแสง

ในทางทันตกรรมแสงมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ของวัสดุที่มีเรซินเป็นส่วนประกอบ โดยแสงที่มีประสิทธิภาพสามารถวัดได้จากความเข้มแสง (intensity) ซึ่งความเข้มแสง (12) หมายถึง จำนวนโฟตอนต่อวินาที หรือวัตต์ (Watts) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของปลายหลอดนำแสง ความเข้มแสงที่ปล่อยออกมาจากเครื่องฉายแสง วัดเป็นหน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) ในการกระตุ้นให้วัสดุเรซินคอมโพสิตความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่สมบูรณ์ควรใช้ความเข้มแสงที่ไม่น้อยกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (33) เครื่องฉายแสงควรได้รับการตรวจสอบความเข้มแสงอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสี (radiometer) (ภาพที่ 5) (37) หรือใช้การวัดโดยอ้อมจากความลึกของการก่อตัวของวัสดุ (33) หากวัสดุได้รับแสงไม่เพียงพอ ปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ของวัสดุจะไม่สมบูรณ์มีผลต่อประสิทธิภาพของวัสดุ (38, 39)

การวัดการก่อตัวของวัสดุสามารถวัดได้หลายวิธีทั้งวัดโดยตรง (direct method) และวัดโดยอ้อม (indirect method) การวัดโดยตรงเช่นการใช้ ฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared spectrometry, FTIR) (40, 41) การใช้เลเซอร์รามานสเปกโตรสโกปี (Laser Raman spectroscopy) (42) เป็นการวัดปริมาณของเมทาคริลิตโดยตรงก่อน



ภาพที่ 5 เครื่องวัดพลังงานรังสี (คัดลอกจาก Kerr, USA)

และหลังเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ และการวัดปริมาณหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) หรือเกลือของแคลเซียมและอลูมิเนียม (calcium and aluminium salt) จากปฏิกิริยากรด-ด่าง และการวัดอิมเพแดนซ์สเปกโตรสโกปี (Impedance spectroscopy) (43) เป็นการวัดความต้านทานกระแสไฟฟ้าของวัสดุมีหน่วยเป็นโอห์มเพื่อบอกถึงการก่อกำตัวของวัสดุ การใช้เลเซอร์ราแมนสเปกโตรสโกปี จะให้ผลที่เชิงปริมาณที่เที่ยง ตรงกว่าการใช้ไฟริเออร์ทรานฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ผลของวิธีการวัดโดยตรงจะให้ผลที่เที่ยงตรงมีประสิทธิภาพและไม่ทำลายชิ้นงาน แต่วิธีการซับซ้อนใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่ได้รับความนิยม ส่วนวิธีการวัดโดยอ้อมคือการขูดผิว (scrap test) (30, 44) และการวัดความแข็งผิวของวัสดุ (surface hardness) (45, 46) การขูดผิวเป็นวิธีการวัดความลึกในการแข็งตัววิธีหนึ่ง โดยการส่องด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปเพื่อหาเส้นโปร่งแสง (translucent line) ซึ่งเป็นรอยต่อของวัสดุที่มีการก่อกำและไม่ก่อกำ จากนั้นทำการกำจัดส่วนของวัสดุที่ไม่ก่อกำออกแล้วทำการวัดความสูงของวัสดุที่ก่อกำ (47) การวัดความแข็งผิวของวัสดุเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งการวัดความแข็งผิวของวัสดุนี้ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการวัดอัตราการเกิดโพลีเมอร์โดยตรง (46) วัสดุที่มีอัตราการเกิดโพลีเมอร์สูงจะมีความแข็งผิวสูงด้วย (48) Dewald และ Ferracane (47) เปรียบเทียบวิธีการประเมินอัตราการเกิดโพลีเมอร์ของวัสดุ พบว่าการขูดผิวเพื่อทดสอบดูความแข็งตัวของวัสดุและการดูด้วยตาเปล่าสามารถประเมินอัตราการเกิดโพลีเมอร์ของวัสดุได้ดี แต่มักจะให้ค่าที่มากกว่าความเป็นจริงเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดความแข็งผิวและการวัดอัตราการเกิดโพลีเมอร์โดยตรงด้วย ไฟริเออร์ทรานฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ซึ่ง 2 วิธีดังกล่าวให้ผลใกล้เคียงกัน แต่การใช้ไฟริเออร์ทรานฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี นั้นเป็นวิธีที่ยุงยากมากกว่าการวัดความแข็งผิว Rueggeberg และคณะ (33, 49) พบว่าค่าความแข็งผิวของวัสดุที่วัดได้มีค่าคล้ายคลึงกับค่าอัตราการเกิดโพลีเมอร์ของวัสดุเมื่อวัดด้วยวิธีไฟริเออร์ทรานฟอรั่มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (microhardness test)

การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคเป็นวิธีการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร โดยการใช้แรงกดบนพื้นผิววัสดุที่มีความแข็ง จากนั้นจะคำนวณแรงกดต่อพื้นผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นหลังจากหวักดกดเรียบร้อยแล้ว (50) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบความแข็งระดับมาโคร (macrohardness tests) จะใช้แรงกดมากกว่า 1 กิโลกรัม และการทดสอบความแข็งระดับจุลภาค (microhardness tests) จะใช้แรงกดน้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งนิยมใช้ทางทันตกรรม หวักดที่นิยมใช้ในการวัดความแข็งผิวทางทันตกรรมคือแบบวิกเกอร์ส และแบบนูปล

- ความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ส (Vickers hardness test)

ใช้หวักดเพชรรูปร่างปิรามิด ที่มีมุม 136 องศา ฐานเป็นสี่เหลี่ยม เมื่อกดรอยกดจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ภาพที่ 6) ความลึกของรอยกดอยู่ที่ 1/7 ของความยาวเส้นทแยงมุม ความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกดจะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าความแข็งและมีหน่วยเป็น Vickers hardness number (VHN) วิกเกอร์เหมาะสำหรับประเมินความแข็งของวัสดุที่มีความเปราะ เช่น โครงสร้างฟัน

ค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ส ได้จากการคำนวณ แรงกดหารด้วยพื้นที่ของรอยกด

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ approximately}$$

F = แรงกด หน่วยเป็น กิโลกรัม

d = ค่าเฉลี่ยของความยาวเส้นทแยงมุม d1 และ d2 หน่วยเป็น มิลลิเมตร

HV = ค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ส

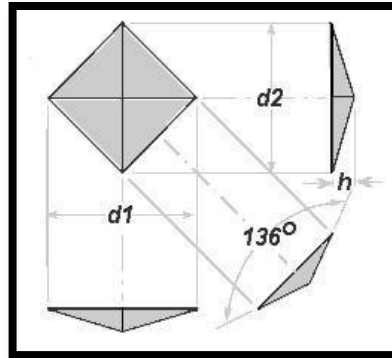
- ความแข็งผิวแบบนูปล (Knoop hardness test)

มีหลักการเช่นเดียวกับการทดสอบแบบวิกเกอร์ส โดยหวักดรูปทรงปิรามิดที่ทำให้รอยกดเป็นรูปขนนกเป็ดกนู (ภาพที่ 7) โดยมีสัดส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นที่ 7:1 ความลึกของรอยกดอยู่ที่ 1/30 ของความยาวของหวักด ค่าความแข็งคำนวณจากความยาวของเส้นทแยงมุมเส้นยาวของรอยกด มีหน่วยเป็น Knoop hardness number (KHN) โดยที่ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบแบบนูปลจะต้องมีพื้นผิวที่เรียบ รอยกดจะเกิดการคืนตัว (elastic recovery) ตามแนวเส้นทแยงมุมสั้น ดังนั้นค่าความแข็งผิวแบบนูปลจึงไม่ขึ้นกับความยืดหยุ่นของวัสดุ นอกจากนี้การ

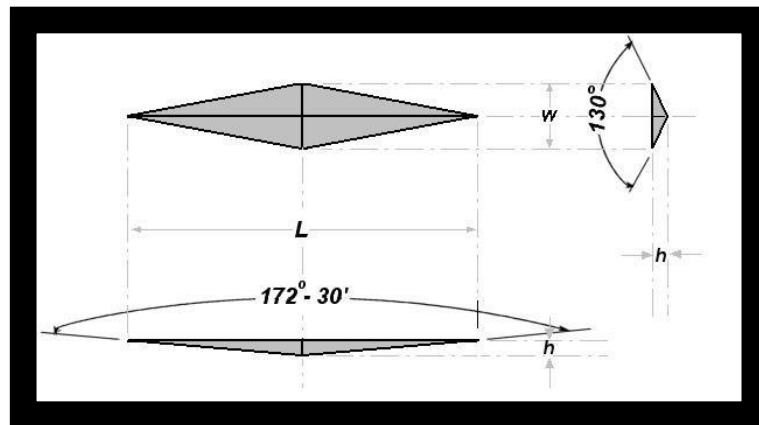
ทดสอบแบบนูนสามารถใช้แรงกดได้ตั้งแต่ 0.1 กิโลกรัม ถึง มากกว่า 1 กิโลกรัมสามารถทดสอบได้ ทั้งวัสดุที่แข็งและนิ่ม (6) โดยมีสูตรคือ (51)

$$\text{ความแข็งผิว (KH)} = \frac{\text{น้ำหนักที่ใช้กด (F)}}{\text{พื้นที่ของรอยกด (A)}}$$

โดยพื้นที่ของรอยกด (A) = $0.07L^2$ และ L = ความยาวเส้นทแยงมุมเส้นยาวของรอยกด รูปปิรามิด หน่วยเป็น มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 แสดงรอยกดของหัวกดเพชรรูปพีรามิดแบบวิกเกอร์ส (51)



ภาพที่ 7 แสดงรอยกดของหัวกดแบบนูน (51)

สำหรับเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นสามารถใช้ความแข็งผิวในการวัดการ ก่อตัวของวัสดุ และความลึกในการก่อตัวของวัสดุ (31, 52) ซึ่งมีการศึกษาที่แสดงว่าค่าความแข็ง ผิวแบบนูนมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ (47) นอกจากนี้ความแข็งผิวที่ผิวหน้าของ วัสดุที่ได้รับแสงจะมีความมากกว่าด้านตรงข้ามซึ่งไม่ได้รับแสง เนื่องจากด้านตรงข้ามมีระยะห่างจาก ปลายหลอดนำแสงมากกว่า ดังนั้นความแข็งผิวบริเวณผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจึงไม่สามารถบ่ง บอกถึงความแข็งผิวบริเวณอื่นๆของวัสดุอื่นๆได้ (53) มีผู้นำเสนอการใช้อัตราส่วนความแข็งผิวโดย

ใช้ความแข็งแรงส่วนล่างหารด้วยความแข็งแรงส่วนบน เพื่อเป็นตัวแทนการก่อตัวของวัสดุทั้งชิ้น (23) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับวัสดุเรซินคอมโพสิต (54) จากการศึกษาความแข็งแรงผิวของ เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีความลึกมากขึ้นจะมีความแข็งแรงที่น้อยกว่าผิวด้านบน (31, 55) และพบว่าความแข็งแรงผิวจะเปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไป โดยการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นสะท้อนถึงการดำเนินต่อไปของการก่อตัวของวัสดุ ดังนั้นจะพบว่าวัสดุจะมีความแข็งแรงผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อวัสดุก่อตัวเต็มที่โดยมีอัตราเร็วในช่วง 1-2 วันแรก (52) ความแข็งแรงผิวด้านล่างจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเทียบเท่ากับผิวด้านบนใน 7 วัน (31) ในทางกลับกันเมื่อเวลานานขึ้นวัสดุมีการดูดน้ำมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงผิวของวัสดุลดลง โดยวัสดุจากแต่ละบริษัทจะมีความแข็งแรงผิวลดลงในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (25) ดังนั้นความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะขึ้นกับระยะเวลาภายหลังการก่อตัวและส่วนประกอบของวัสดุ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ ในแต่ละงานวิจัยอาจมีการกำหนดผลิตภัณฑ์ หัวกด ค่าแรงกด เวลาในการกด และจำนวนการกด ที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกันออกไป จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังนี้

Swift และคณะ (31) ในปี ค.ศ. 1995 ได้ทำการศึกษาความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 5 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฟูลิ II แอลซี (GC America) จีริสโตร์ (Geristore, Den-Mat), โฟแทคฟิล (ESPE America) แวริกลาส (VariGlass, Caulk/Dentsply) และวิทริเมอร์ (3M Dental Products) โดยสร้างชิ้นงานขนาดหน้าตัด 5x5 มิลลิเมตร ความหนา 9 มิลลิเมตรผลิตภัณฑ์ละ 5 ชิ้น แต่ที่ความหนามากกว่า 5 มิลลิเมตรไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจากวัสดุไม่แข็งตัว โดยการศึกษานี้จะวัดความแข็งแรงผิวแบบนูนทุก 1 มิลลิเมตรชั้นละ 3 ตำแหน่งใช้แรงกด 10 กรัมครั้งละ 12 วินาที และวัดที่ 10 นาที 1 วัน และ 7 วัน โดยผลการศึกษาพบว่า ผิวด้านบน (0-1 มิลลิเมตร) ของแต่ละชั้นมีความแข็งแรงผิวมากกว่าที่ความหนา 4-5 มิลลิเมตรเมื่อวัดที่เวลา 10 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน เมื่อวัดที่เวลา 1 วันพบว่าความหนาไม่มีผลต่อความแข็งแรงผิวของจีริสโตร์ โฟแทคฟิล และวิทริเมอร์ ส่วนแวริกลาสพบว่าความแข็งแรงผิวจะลดลงเมื่อความหนามากขึ้น เมื่อวัดที่ 7 วันพบว่า ฟูลิ II แอลซี วิทริเมอร์ และโฟแทคฟิลจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงผิวอย่างมีนัยสำคัญ ต่างกับแวริกลาสและจีริสโตร์จะมีความแข็งแรงผิวลดลงเมื่อความหนามากขึ้น

Uno และคณะ (27) ในปี ค.ศ. 1996 ได้ทดสอบหาความลึกของรอยกดของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 6 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เคแทคฟิล (Ketac-fil) โฟแทคฟิล ฟูลิ II แอลซี วิทริเมอร์ ไดแรค (Dyract) เพคาฟิล (Pekafill) โดยสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ละ 5 ชิ้น จากนั้นทดสอบหาความลึกของรอยกด โดยใช้หัวกดแบบวิกเกอร์แรงกด 1 นิวตันเป็นเวลา 60 วินาที โดยวัดความลึก 5 ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งต้องไม่ใกล้ขอบเกิน 1 มิลลิเมตร โดยวัดภายหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 3 และ 6 เดือน พบว่า

ฟูจิ II แอลซีและวิทริเมอร์มีความลึกลงจนถึง 1 วัน จากนั้นความลึกจะคงที่จน 1 เดือน จากนั้นความลึกจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวัดความลึกที่ 6 เดือน

Yap และคณะ (24) ในปี ค.ศ. 1997 ศึกษาความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และคอมโพเมอร์ภายหลังการฉายแสงนำมาเปรียบเทียบกับความแข็งแรงผิวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเรซินคอมโพสิต ซึ่งเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้คือ ฟูจิ II แอลซี วิทริเมอร์ และโฟแทคฟิล โดยสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร วัดผลิตภัณฑ์ละ 10 ชิ้น วัดความแข็งแรงผิวโดยใช้หัวกดแบบแบบวิกเกอร์ แรงกด 50 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที โดยวัดภายหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 3 และ 6 เดือน พบว่าความแข็งแรงผิวที่ 1 วันของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกับการก่อตัวในช่วงแรก ความแข็งแรงผิวของการก่อตัวในช่วงแรกมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเวลาอื่น และมีความแข็งแรงผิวเพิ่มขึ้นที่ 1 วัน มากกว่า 1 3 และ 6 เดือน

Kanchanavasita และคณะ (25) ในปี ค.ศ. 1998 ศึกษาความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อแช่น้ำและน้ำลายโดยใช้ ฟูจิ II แอลซี วิทริเมอร์ วิทริบอนด์ (Vitrebond) และ ฟูจิไลน์แอลซี (Fuji Lining LC) โดยสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ละ 6 ชิ้น แบ่งเป็นแช่น้ำและน้ำลายอย่างละ 3 ชิ้น วัดความแข็งแรงผิวโดยใช้หัวกดแบบแบบวิกเกอร์ แรงกด 300 กรัม กดเป็นเวลา 10 วินาที วัดภายหลังการสร้างชิ้นงาน 5 นาที 1 ชั่วโมง 1 วัน 7 วัน 30 วัน 60 วัน 90 วัน 180 วัน และ 360 วัน โดยกดแต่ละเวลา 3 รอยกด พบว่าเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมีความแข็งแรงผิวมากที่สุดในช่วง 1-7 วันและจะรักษาระดับจน 1 ปี ผลการวัดที่ 1 วัน พบว่าวิทริเมอร์มีความแข็งแรงผิวอยู่ในระดับเดียวกับฟูจิ II แอลซีและฟูจิไลน์แอลซี และมากกว่าวิทริบอนด์อย่างมีนัยสำคัญ

Basting และคณะ (56) ในปี ค.ศ. 2002 ศึกษาความแข็งแรงผิว วิทริเมอร์และฟูจิ II แอลซี โดยสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานฝังในเครื่องมือออกคริลิคแบบถอดได้เพื่อให้อาสาสมัครใส่ โดยจะนำชิ้นงานมาวัดความแข็งแรงผิวแบบนูนป ภายหลังสร้างชิ้นงาน 30 นาที 1 2 4 8 24 และ 48 ชั่วโมง 7 10 14 17 และ 21 วัน ใช้หัวกด 25 กรัมเป็นเวลา 5 วินาทีและกดเวลาละ 3 ครั้ง พบว่า ปัจจัยของวัสดุและเวลาภายหลังการฉายแสงมีผลต่อค่าความแข็งแรงผิว วิทริเมอร์มีความแข็งแรงผิวมากกว่าฟูจิ II แอลซี ในทุกเวลา

Silva และคณะ (57) ในปี ค.ศ. 2007 ศึกษาความแข็งแรงผิวของวัสดุบูรณะ 3 ชนิดคือ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และคอมโพเมอร์เมื่อแช่น้ำและสารละลายฟิเอช 4.6 เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้คือ ฟูจิ II แอลซีและวิทริเมอร์ โดยสร้างชิ้นงานผลิตภัณฑ์ละ 12 ชิ้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร วัดความ

แข็งผิวด้วยหัวกดแบบรูปขนาด 100 กรัม กดเป็นเวลา 5 วินาที วัด 5 ตำแหน่ง พบว่าสารละลายต่างชนิดมีผลต่อความแข็งผิวของวิทริเมอร์แต่ไม่มีผลต่อฟูจิ II แอลซี

Roberts และคณะ (23) ในปี ค.ศ. 2009 ศึกษาความหนาและเวลาภายหลังการสร้างชิ้นงานต่อความแข็งผิวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ฟูจิ II แอลซี วิทริเมอร์ และไฟแทคฟิล โดยสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความหนา 2 3 4 และ 5 มิลลิเมตร โดยวัดความแข็งผิวที่ 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 1 3 6 9 12 เดือน กลุ่มละ 5 ชิ้น ซึ่งวัดความแข็งผิวแบบรูปโดยใช้หัวกดขนาด 100 กรัม กดเป็นเวลา 10 วินาที วัด 3 ตำแหน่ง พบว่า ฟูจิ II แอลซีมีแนวโน้มอัตราส่วนความแข็งผิวสูงขึ้นในระยะเวลา 1 เดือน วิทริเมอร์อัตราส่วนความแข็งผิว มีแนวโน้มคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 1 เดือน อัตราส่วนความแข็งผิวของฟูจิ II แอลซีที่ใช้การบุงนระแบบครั้งเดียวที่ 3 4 และ 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกความหนาโดยวัดอัตราส่วนความแข็งผิวที่ 24 ชั่วโมง อัตราส่วนความแข็งผิวของวิทริเมอร์ที่ใช้การบุงนระแบบครั้งเดียวที่ความหนา 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับความหนาอื่นโดยวัดอัตราส่วนความแข็งผิวที่ 24 ชั่วโมง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

1. กลุ่มตัวอย่าง คือ ชั้นตัวอย่างเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยฟูจิ II แอลซี วิทริเมอร์ และคี่แทคเอ็น 100
2. การคำนวณขนาดตัวอย่าง (n) ต่อกลุ่ม สำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยประชากร สูตรการคำนวณ

$$n = \frac{2\sigma^2 (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

$$\sigma^2 = S_p^2 = \frac{(S_1^2 + S_2^2)}{2}$$

โดยที่

σ^2 = ความแปรปรวนของประชากร (variance)

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากร

$Z_{1-\alpha/2}$ = ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ α

$Z_{1-\beta}$ = ค่ามาตรฐานของการกระจายปกติที่ระดับ β

กำหนด $\alpha = 0.05$ $Z_{1-\alpha/2}$ ที่ 95% แทนค่า 1.96

กำหนด $\beta = 0.05$ $Z_{1-\beta}$ มี power ที่ 90% แทนค่า 1.282

จากการศึกษานำร่อง ศึกษาค่าความแข็งผิวที่ด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 3 ชนิด ฟูจิ II แอลซี, วิทริเมอร์, คี่แทคเอ็น 100 โดยการบูรณะแบบครึ่งเดียวและแบบเป็นชั้น ที่เวลา 1 วันได้ค่าเฉลี่ยของประชากรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากนั้นนำมาคำนวณกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ได้ค่ากลุ่มตัวอย่างเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อพิจารณาข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลาในการทดลอง ความเป็นไปได้ในการเตรียมชิ้นงานในช่วงเวลาหนึ่ง จึงไม่สามารถศึกษากลุ่มตัวอย่างตามที่คำนวณได้ เมื่อพิจารณาการจับคู่เพื่อคำนวณหาจำนวนตัวอย่าง พบว่าคู่ที่จำนวนตัวอย่างมากกว่า 10 มีจำนวน 86 คู่ จากการคำนวณ 126 คู่ ซึ่งจำนวนตัวอย่าง

10 ชิ้นต่อกลุ่มเท่ากับการศึกษาของ Cefaly และคณะในปีค.ศ. 2009 (55) ดังนั้นในการศึกษานี้จะ
ใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 10

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (ดังตารางที่ 1)

1. ฟุจิ II แอลซี (Fuji II LC[®], GC, Tokyo, Japan) สี A3
2. วิทริเมอร์ (Vitrem[®], 3M/ESPE, St.Paul, MN, U.S.A.) สี A3
3. คีแทคเอ็น 100 (Ketac N 100[®], 3M/ESPE, St.Paul, MN, U.S.A.) สี A3

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer, L.E.D. radiometer by Demitron, Kerr Corporation, Orange, CA, USA)
2. เครื่องฉายแสงแอลอีดี (LED curing light unit, Elipar[™] S10, 3M/ESPE, St.Paul, MN, USA)
3. เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค (Micro-hardness tester, FM- 700e TYPE D, FUTURE-TECH, Japan)
4. เครื่องวัดดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Digimatic Micrometer, Mitutoyo, Japan)
5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, Contherm 1200, Contherm, New Zealand)
6. เครื่องปั่นอมัลกัม (Amalgamator, Mixomat, Degussa AG, Germany)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบหล่อโลหะแบบแยก (splited stainless steel mold) เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดประกอบด้วยแบบโลหะความสูง 1 และ 2 มิลลิเมตร อย่างละ 2 ชิ้น
2. ซิลิโคนสเปรย์ (silicone spray)
3. แผ่นกระจกใส (glass slide)
4. เมทริกซ์ไฮโดรเจล (celluloid matrix)
5. แท่งกระจกใส (glass slab)
6. พายผสม (plastic spatula)
7. หลอดนำวัสดุ (delivery syringe, Apidose tips[™], Microbrush inc, USA)

8. ฟ้ำก๊อซ
9. น้ำกลั่น

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษา

Commercial Name of RMGI	Batch number	Composition	Mixing and Curing time
Fuji II LC [®] GC, Tokyo, Japan	912171 1002151	<u>Powder:</u> fluoroaluminosilicate glass <u>Liquid:</u> polyacrylic acid; HEMA; 2,2,4, TMHEDC; TEGDMA	Automatically mix capsules 10 s Curing time 20 s powder / liquid 3.2 / 1.0 wt ratio
Vitremer [®] 3M/ESPE, St.Paul, MN, U.S.A.	N138252 N176571(powder) N173950(Liquid)	<u>Powder:</u> fluoroaluminosilicate glass; microencapsulated potassium persulfate and ascorbic acid; pigments <u>Liquid:</u> aqueous solution of polycarboxylic acid; HEMA; photoinitiators	Manually mixed for 45 s Curing time 40 s powder/liquid 2.5/1.0 wt ratio
Ketac N 100 [®] 3M/ESPE, St.Paul, MN, U.S.A.	N122556 N123743	<u>Paste A:</u> silane-treated glass; silane- treated ZrO ₂ ; silane-treated silica ; PEGDMA; HEMA; Bis- GMA; TEGDMA <u>Paste B:</u> silane-treated ceramic; silane- treated silica ; water ; HEMA; acrylic/itaconic acid copolymer	Manually mixed for 20 s Curing time 20 s Dispense 2 clicks 1.3/1.0 wt ratio

กลุ่มควบคุม คือ ความแข็งผิวด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไฮโอโนเมอร์ ซีเมนต์แต่ละชนิดที่ความหนา 2 มิลลิเมตรโดยวิธีการบูรณะแบบครั้งเดียว

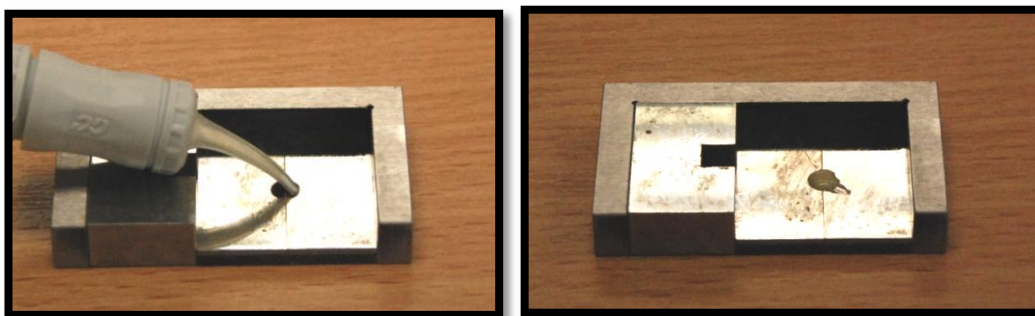
กลุ่มทดลอง คือ ความแข็งผิวด้านบนและด้านล่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไฟเบอร์ โอลิโกเมอร์ ซีเมนต์แต่ละชนิดที่มีความหนา 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ทั้งวิธีการบ่มแบบครั้งเดียวและแบบเป็นชั้น โดยวัดผลหลังทำที่ 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ 1 เดือน เป็นจำนวน 18 กลุ่ม

การควบคุมมาตรฐาน โดยการเตรียมชิ้นงาน ที่ความหนาเดียวกัน วิธีการบ่มต่างกัน ในวันเดียวกัน เช่น การเตรียมชิ้นงานความหนา 3 มิลลิเมตร เตรียมโดยวิธีการบ่มแบบครั้งเดียวและแบบเป็นชั้น ในวันเดียวกัน

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

1. เตรียมเครื่องฉายแสงแอลอีดี โดยใช้เครื่องวัดพลังงานรังสีตรวจวัดความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ก่อนฉาย และตรวจความเข้มแสงซ้ำเมื่อเปลี่ยนกลุ่ม การเตรียมชิ้นงาน
2. เตรียมแบบหล่อเพื่อสร้างชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ความหนา 1 และ 2 มิลลิเมตร เคลือบผิวด้านในด้วยซิลิโคนสเปรย์ให้ทั่ว รอให้แห้ง 1 นาที
3. โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม

– กรณีใส่วัสดุแบบครั้งเดียวตามความสูงของแบบหล่อ เตรียมแบบหล่อตามความสูงที่ต้องการวางบนเมทริกซ์ใส ผสมวัสดุตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด คือแทคเอ็น 100 และ วิทริเมอร์ ใช้กระบอกรนำวัสดุเป็นตัวนำวัสดุ ในกรณีของ พูจี II แอลซี ฉีดวัสดุจากแคปซูลโดยตรง การฉีดวัสดุให้วางปลายหลอดฉีดเหนือส่วนล่างของแบบหล่อโลหะประมาณ 0.5 มิลลิเมตร รักษาระดับจนเต็มแบบหล่อโลหะ ต่อมาปิดด้านบนด้วยเมทริกซ์ใสและกดด้วยแผ่นกระจกใสจากนั้นนำแผ่นกระจกใสออก จากนั้นฉายแสงโดยวางปลายหลอดนำแสงตั้งฉากกับแบบหล่อ เวลาในการฉายแสงเป็นเวลาตามบริษัทผู้ผลิตกำหนดดังภาพที่ 8-14



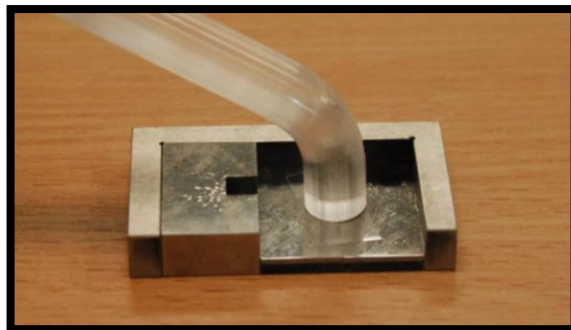
ภาพที่ 8,9 วางแบบหล่อโลหะบนเมทริกซ์ใสตามความสูงและฉีดวัสดุให้ถึงความสูง



ภาพที่ 10,11 แสดงเมทริกซ์ใส และการปิดด้านบนชิ้นงานด้วยเมทริกซ์ใส

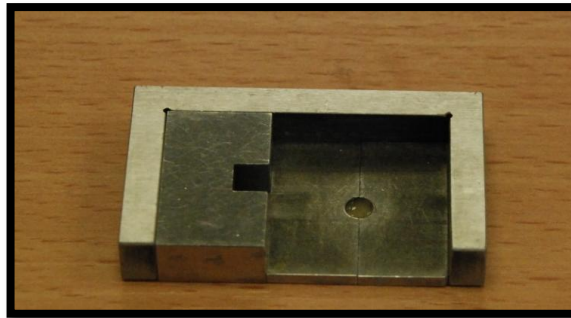


ภาพที่ 12, 13 แสดงการปิดด้านบนชิ้นงานด้วยแผ่นกระจกใสเพื่อกำจัดส่วนเกิน แล้ว
นำออก

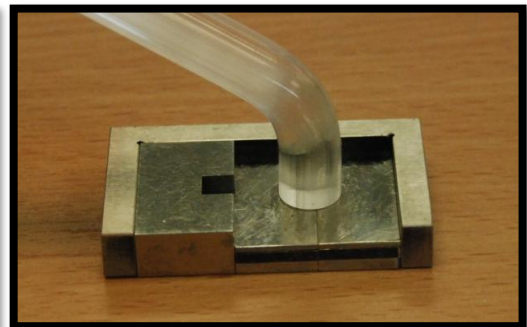
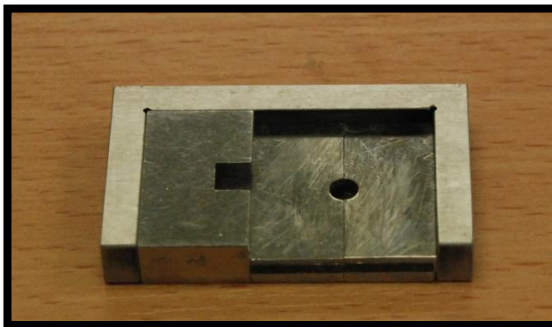


ภาพที่ 14 แสดงการฉายแสงที่ขึ้นตัวอย่าง

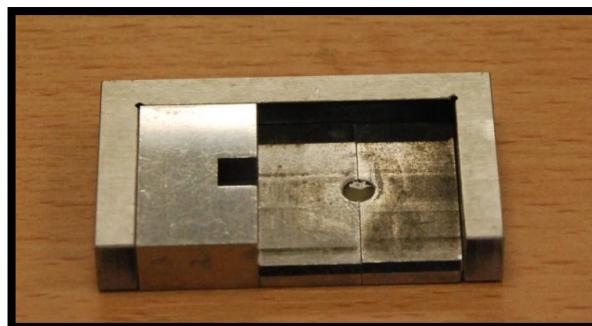
– ในกรณีใสวัสดุเป็นชั้น เตรียมแบบหล่อในแต่ละชั้น ในแต่ละชั้น นผสมวัสดุตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด สำหรับซีแทคเอ็น 100 และ วิทริเมอร์ ใช้กระบอคนำวัสดุเป็นตัวนำวัสดุ ในกรณีของ พูจี II แอลซี ฉีดวัสดุจากแคปซูลโดยตรง การฉีดวัสดุให้วางปลายหลอดฉีดเหนือส่วนล่างของแบบหล่อโลหะประมาณ 0.5 มิลลิเมตร รักษาระดับจนเต็มแบบหล่อโลหะที่ นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตร และ ฉายแสงตามความหนาสุดทำของชิ้นงาน ในขั้นสุดท้ายปิดด้านบนด้วยเมทริกซ์ใส และกดด้วยแผ่นกระจกใสจากนั้นนำแผ่นกระจกใสออก ฉายแสงโดยวางปลายหลอดนำแสงตั้งฉากกับชิ้นงาน เวลาในการฉายแสงเป็นเวลาตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด ดังภาพที่ 15-21



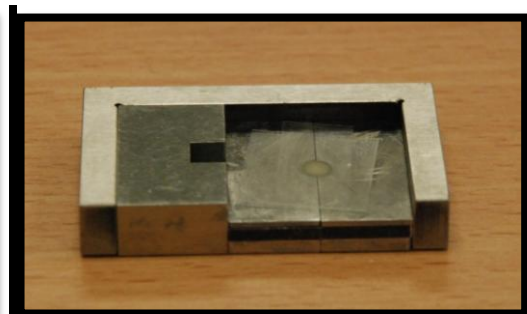
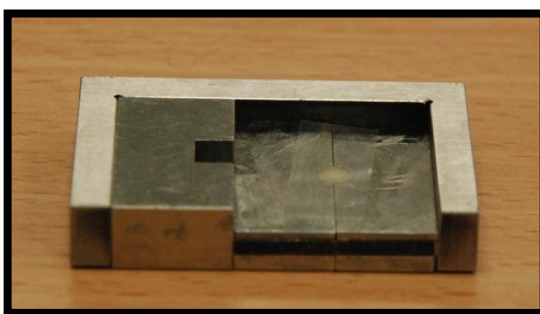
ภาพที่ 15 แสดงการวางแบบหล่อโลหะบนเมทริกซีสจากนั้นฉีดสารไม่เกินชั้นละ 2 มิลลิเมตร



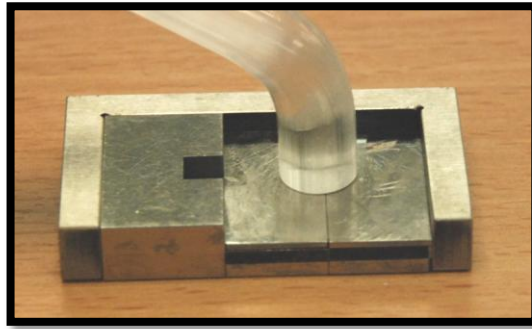
ภาพที่ 16,17 ใส่แบบโลหะให้ถึงความสูงที่ต้องการในขั้นนี้คือ 5 มิลลิเมตร จากนั้นฉายแสงตามบริษัทผู้ผลิต



ภาพที่ 18 แสดงแบบหล่อโลหะที่ฉีดสารในชั้นที่ 2 จากนั้นทำตามภาพที่ 16, 17 เช่นเดิมจนได้ตามความสูง

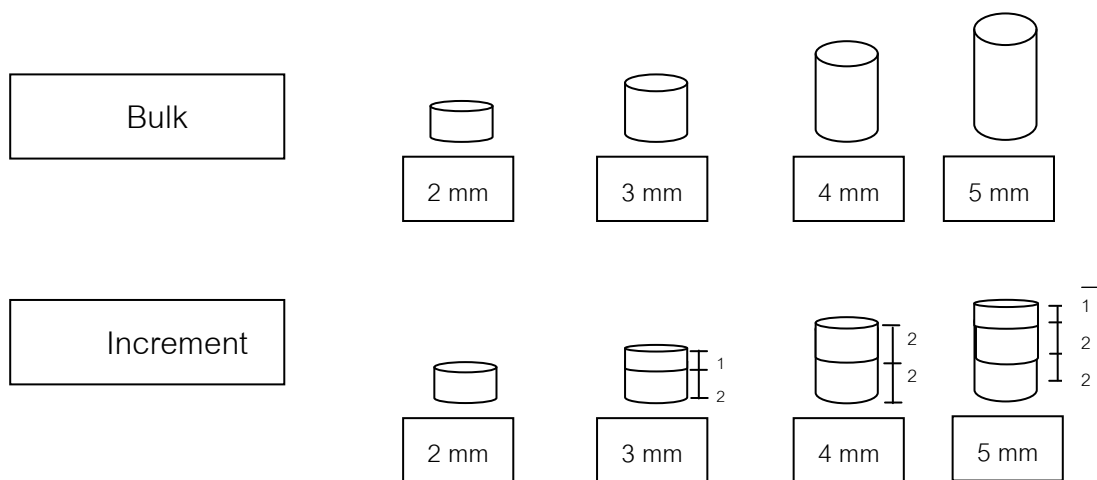


ภาพที่ 19, 20 แสดงการสร้างชิ้นงานในขั้นสุดท้าย ปิดด้านบนด้วยเมทริกซีสและแผ่นกระจกใส (ในที่นี้คือชิ้นงานความหนา 5 มิลลิเมตร)

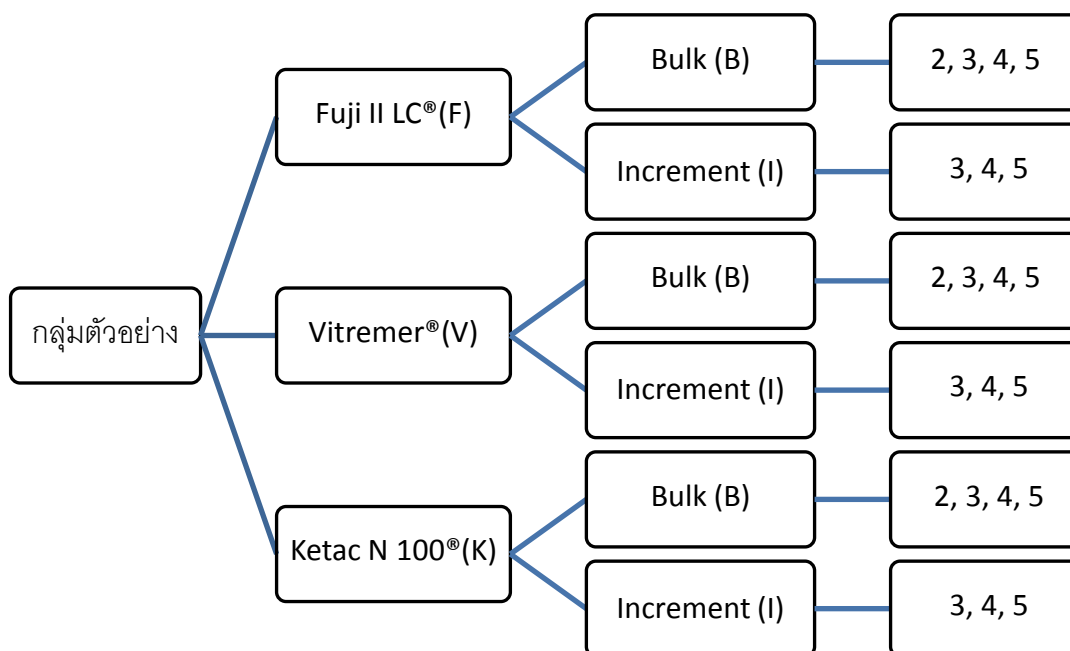


ภาพที่ 21 แสดงการนำแผ่นกระจกใสออกและการฉายแสงที่ขึ้นตัวอย่าง

ระบุด้านบนของชิ้นตัวอย่างทั้งสองกลุ่มโดยการจุดสีแดงที่ด้านข้างชิดกับด้านบนของวัสดุ นำเก็บในกล่องกันแสง แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำกลั่น นำใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ตามลำดับ



ภาพที่ 22 แสดงแบบหล่อโลหะตามความสูงในแต่ละกลุ่ม

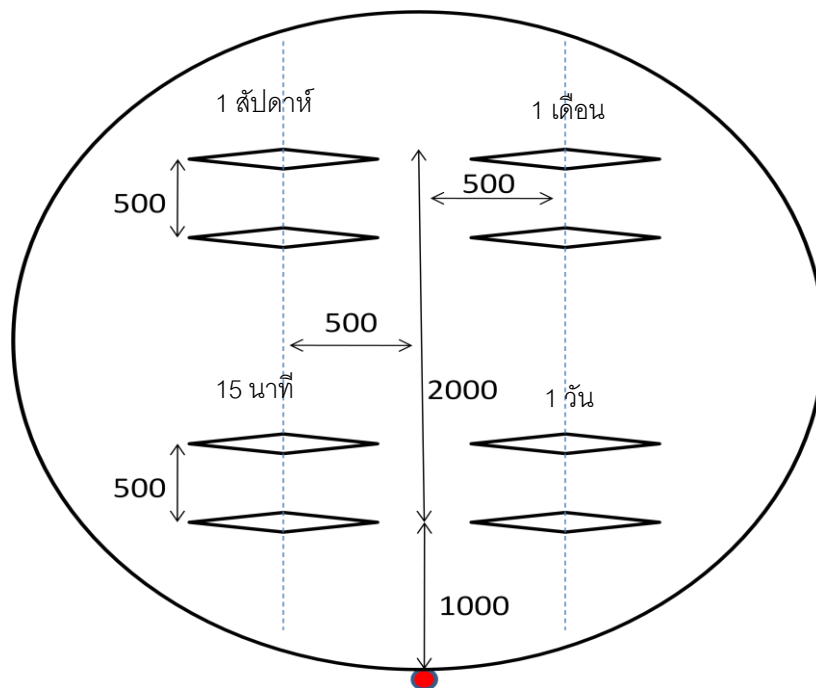


ภาพที่ 23 แสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

ชื่อกลุ่มในการศึกษาประกอบด้วย ตัวที่ 1 อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ ตัวที่ 2 อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ และตัวที่ 3 เลขอารบิก มีความหมายถึง ผลิตภัณฑ์ วิธีการบูรณะ และความหนาของชิ้นงาน ตามลำดับ เช่น FB2 คือ ฟุจิ II แอลซี บูรณะแบบครั้งเดียวความหนา 2 มิลลิเมตร หรือ KI5 คือ คีแทคเอ็น 100 บูรณะแบบเป็นชั้นความหนา 5 มิลลิเมตร

การวัดความแข็งแรงระดับจุลภาคของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

นำชิ้นตัวอย่างตรวจวัดความแข็งแรงผิวของชิ้นงานด้านที่รับแสงหรือด้านบน (top) โดยใช้หัวกดรูป ขนาดแรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ต่อ 1 รอยกด ทำการกด 2 ตำแหน่งต่อเวลาต่อ 1 ชิ้นตัวอย่างโดยใช้เวลา 15 นาที จะกดตำแหน่งที่ 1 โดยวัดในตำแหน่งที่ห่างจากจุดที่ระบุตำแหน่งด้านบนด้วยปากกา 1000 ไมโครเมตรและห่างจากแนวกลางมาด้านซ้าย 500 ไมโครเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่เหนือตำแหน่งที่ 1 500 ไมโครเมตร ที่เวลา 1 วัน จะกดตำแหน่งที่ 1 โดยวัดในตำแหน่งที่ห่างจากจุดที่ระบุตำแหน่งด้านบนด้วยปากกา 1000 ไมโครเมตรและห่างจากแนวกลางมาด้านขวา 500 ไมโครเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่เหนือตำแหน่งที่ 1 500 ไมโครเมตร ที่เวลา 1 สัปดาห์ จะกดตำแหน่งที่ 1 โดยวัดในตำแหน่งที่ห่างจากจุดที่ระบุตำแหน่งด้านบนด้วยปากกา 3000 ไมโครเมตรและห่างจากแนวกลางมาด้านซ้าย 500 ไมโครเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ 1 500 ไมโครเมตร ที่เวลา 1 เดือน จะกดตำแหน่งที่ 1 โดยวัดในตำแหน่งที่ห่างจากจุดที่ระบุตำแหน่งด้านบนด้วยปากกา 3000 ไมโครเมตรและห่างจากแนวกลางมาด้านขวา 500 ไมโครเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ 1 500 ไมโครเมตร อ่านค่าความแข็งแรงที่กำลังขยาย 10-20 เท่า ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงผิวทั้ง 2 ค่า ถือเป็นค่าความแข็งแรงผิวของชิ้นงานนั้น ทำเช่นเดียวกันที่ด้านล่าง (bottom) ของแต่ละเวลา (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 แสดงตำแหน่งการวัดความแข็งแรงผิวที่เวลาต่างๆ (หน่วย : ไมโครเมตร)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกค่าความแข็งแรงในระดับจุดภาคทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานในแต่ละชั้น ตัวอย่างทั้ง 4 เวลา ลงในตารางเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเอส พี เอส เอส (SPSS for windows version 17.0) และกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงส่วนบนและล่างในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่โดยตัวแปรไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent pair *t*-test)
2. วิเคราะห์ผลของความหนาของวัสดุ และวิธีการบูรณะต่อความแข็งแรงต่อค่าความแข็งแรงด้านบนและด้านล่าง โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ในแต่ละตัวแปรโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแปรทางเดียว (One-Way ANOVA)

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซิกมาสแตท (Sigma stat for windows version 2.03) และกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ความแข็งแรงด้านบนและด้านล่างกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีการวัดซ้ำ (Repeated Measures ANOVA)

ในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) จะใช้สถิติแบบนอนพารามิเตอร์ (Non-parametric) ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยสถิติครัสคาล วัลลิส (Kruskal Wallis test) แทนการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทางที่ใช้เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีการแจกแจงปกติ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงระดับจุลภาคด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน

จากการศึกษาค่าความแข็งแรงระดับจุลภาคทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2-5 เมื่อทดสอบการแจกแจงข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test พบว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ ($p > 0.05$) โดยในกลุ่มที่มีการบูรณะแบบครึ่งเดียวส่วนใหญ่พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคของพื้นผิวด้านบนกับด้านล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงระดับจุลภาคจะมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม

ผลการศึกษาอิทธิพลของผลิตภัณฑ์ วิธีการบูรณะและความหนาต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน (ตารางที่ 2-13)

ผลการศึกษาที่เวลา 15 นาที หลังสร้างชิ้นงาน

สำหรับการทดสอบอิทธิพล ของวิธีการบูรณะ และความหนา ต่อค่าความแข็งแรงด้านบนของชิ้นงานพบว่าทั้ง 2 ตัวแปรเมื่ออิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงทั้งด้านบนและด้านล่างของวัสดุแต่ละชนิด

ความแข็งแรงด้านบน

สำหรับฟูจิ II แอลซี ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่มีความหนาเท่ากัน พบว่าไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p > 0.05$) **สำหรับวิทริเมอร์** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่มีความหนาเท่ากัน พบว่า ที่ความหนา 5 มิลลิเมตร เมื่อบูรณะแบบครึ่งเดียวมีค่ามากกว่าเมื่อบูรณะแบบชั้น ($p < 0.05$) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความแข็งแรงด้านล่าง

สำหรับฟูจิ II แอลซี เมื่อบูรณะแบบครึ่งเดียวที่หนา 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่มีความหนาเท่ากัน พบว่าที่ความหนา 5 มิลลิเมตร เมื่อบูรณะแบบครึ่งเดียวมีค่าน้อยกว่าเมื่อบูรณะแบบชั้น ($p > 0.05$) **สำหรับวิทริเมอร์** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มี

ความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่าไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p>0.05$) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวทุกกลุ่มน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าการบูรณะแบบครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าบูรณะแบบชั้นในทุกความหนา

ผลการศึกษาที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน

สำหรับการทดสอบอิทธิพล ของวิธีการบูรณะ และความหนา ต่อค่าความแข็งแรงด้านบนของชิ้นงานพบว่าทั้ง 2 ตัวแปรอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงทั้งด้านบนและด้านล่างของวัสดุแต่ละชนิด

ความแข็งแรงด้านบน

สำหรับฟูจิ II แอลซี ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p>0.05$) **สำหรับวิทริเมอร์** ทุกกลุ่มเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียว พบว่าค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าที่ความหนา 3 และ 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าแบบชั้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ ความหนา 4 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ความแข็งแรงด้านล่าง

สำหรับฟูจิ II แอลซี ทุกกลุ่มเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียว พบว่าค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่า เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อบูรณะแบบชั้น ($p<0.05$) **สำหรับวิทริเมอร์** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่า ค่าความแข็งแรงไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่า ที่ทุกความหนา เมื่อบูรณะแบบเป็นครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าการบูรณะแบบชั้น **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียว ที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตรมีค่า

ความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าการบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าบูรณะแบบชั้น ($p < 0.05$)

ผลการศึกษาที่เวลา 1 สัปดาห์หลังสร้างชิ้นงาน

สำหรับการทดสอบอิทธิพล ของวิธีการบูรณะ และความหนา ต่อค่าความแข็งแรงด้านบนของชิ้นงานพบว่าทั้ง 2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงทั้งด้านบนและด้านล่างของวัสดุแต่ละชนิด

ความแข็งแรงด้านบน

สำหรับฟูจิ II แอลซี ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้น เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่หนา 4 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่าไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p > 0.05$) **สำหรับบริทิเมอร์** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่าที่ความหนา 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าแบบชั้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่า ไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p > 0.05$)

ความแข็งแรงด้านล่าง

สำหรับฟูจิ II แอลซี เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่หนา 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มค่าความแข็งแรงไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่า ไม่แตกต่างกันในทุกความหนา ($p > 0.05$) **สำหรับบริทิเมอร์** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่า ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบเป็นครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าการบูรณะแบบชั้น **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นพบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน

พบว่าการบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าบูรณะแบบชั้น (p< 0.05)

ผลการศึกษาที่เวลา 1 เดือนหลังสร้างชิ้นงาน

สำหรับการทดสอบอิทธิพล ของวิธีการบูรณะ และความหนา ต่อค่าความแข็งแรงด้านบนของชิ้นงานพบว่าทั้ง 2 ตัวแปรเมื่ออิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงผิวทั้งด้านบนและด้านล่างของวัสดุแต่ละชนิด

ความแข็งแรงด้านบน

สำหรับฟูจิ II แอลซี ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่า เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่หนา 4 มิลลิเมตร ค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าการบูรณะแบบเป็นชั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) **สำหรับวิทริเมอร์** ทุกกลุ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ยกเว้น เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียว ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรพบว่าค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่า ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าแบบชั้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** ที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตรทั้งการบูรณะแบบเป็นชั้นและแบบครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากันพบว่า ไม่แตกต่างกันในทุกความหนา (p>0.05)

ความแข็งแรงด้านล่าง

สำหรับฟูจิ II แอลซี เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่หนา 4 และ 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าที่ความหนา 3 และ 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบเป็นครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าการบูรณะแบบชั้น (p<0.05) **สำหรับวิทริเมอร์** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 5 มิลลิเมตรมีค่าความแข็งแรงผิวมากกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่า ที่ความหนา 5 มิลลิเมตรเมื่อบูรณะแบบเป็นครั้งเดียวมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าการบูรณะแบบชั้น (p<0.05) **สำหรับคิแทเคเอ็น 100** เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่ากลุ่มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อพิจารณาที่วิธีการบูรณะที่ความหนาเท่ากัน พบว่าการบูรณะแบบครั้งเดียวที่ทุกความหนา มีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าบูรณะแบบชั้น (p< 0.05)

ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาต่อความแข็งแรงของฟันในแต่ละกลุ่ม (ตารางที่ 14 และ 19)

ความแข็งแรงฟันด้านบน

ผลการศึกษา ความแข็งแรงฟันด้านบนในแต่ละกลุ่มเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป พบว่า **ฟูจิ II แอลซี** ทุกกลุ่ม มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีแตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงฟันเพิ่มขึ้นใน 1 วัน ยกเว้น เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีไม่แตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน ไม่แตกต่างกับความแข็งแรงฟันที่ 1 เดือน ดังนั้น ในเวลา 1 เดือน ค่าความแข็งแรงฟันส่วนบนมีแนวโน้มคงที่

สำหรับวิทริเมอร์ ทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีแตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 1 วัน กลุ่มที่บูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน แตกต่างกับความแข็งแรงฟันที่ 1 เดือน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 1 เดือน ส่วนที่ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน ไม่แตกต่างกับความแข็งแรงฟันที่ 1 เดือน ดังนั้นมีแนวโน้มคงที่ในระยะเวลา 1 เดือน กลุ่มที่บูรณะแบบขั้นพบค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน ไม่แตกต่างกับความแข็งแรงฟันที่ 1 เดือน ($p > 0.05$) ดังนั้นมีแนวโน้มคงที่ในระยะเวลา 1 เดือน

สำหรับคีแทคเอ็น 100 ทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีแตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 1 วัน กลุ่มความหนา 2 มิลลิเมตรพบว่าค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน แตกต่างจาก 1 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับการบูรณะแบบเป็นชั้นและแบบครั้งเดียวพบว่า ค่าความแข็งแรงฟันที่ 1 วัน ไม่แตกต่างจาก 1 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นในระยะเวลา 1 เดือน ค่าความแข็งแรงฟันมีแนวโน้มคงที่

ความแข็งแรงฟันด้านล่าง

ผลการศึกษา ความแข็งแรงฟันด้านล่างในแต่ละกลุ่มเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป สำหรับ **ฟูจิ II แอลซี** ที่บูรณะแบบครั้งเดียวความหนา 3 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีไม่แตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) มีแนวโน้มคงที่ เมื่อบูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร ความแข็งแรงฟันเมื่อวัดที่ 15 นาทีไม่แตกต่างจากที่ 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับฟูจิ II แอลซีที่บูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 1 เดือน มีแนวโน้มความแข็งแรงฟันที่คงที่

สำหรับวิทริเมอร์ ทุกกลุ่ม มีค่าความแข็งแรงฟันที่ 15 นาทีแตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นกลุ่มที่บูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 5

มิลลิเมตรมีแนวโน้มคงที่ ส่วนการบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร ความแข็งแรงที่ 1 วันไม่แตกต่างจาก 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นในระยะเวลา 1 เดือน ความแข็งแรงมีแนวโน้มคงที่ สำหรับวิธีเมอร์ที่มีการบูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร ความแข็งแรงที่ 1 วัน ไม่แตกต่างจาก 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นในระยะเวลา 1 เดือนความแข็งแรงมีแนวโน้มคงที่ ส่วนกลุ่มที่ความหนา 5 มิลลิเมตร พบว่าความแข็งแรงที่ 1 วันแตกต่างจาก 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)โดยมีแนวโน้มลดลง

สำหรับคีแทคเอ็น 100 เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียว ค่าความแข็งแรง ที่ 15 นาที่แตกต่างจาก 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงที่ 1 วัน แตกต่างจาก 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 1 เดือน แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความแข็งแรงพบว่าอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น สำหรับค่าความแข็งแรงของคีแทคเอ็น 100 เมื่อบูรณะเป็นชั้นที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร ที่เวลา 1 วันไม่แตกต่างจากความแข็งแรงที่ 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นในระยะเวลา 1 เดือนมีแนวโน้มคงที่ เช่นเดียวกับที่ความหนา 2 มิลลิเมตร กลุ่มที่บูรณะแบบเป็นชั้นที่ความหนา 3 มิลลิเมตรจะมีความแข็งแรงที่เวลา 1 วันแตกต่างจากที่ 1 เดือนมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของฟูลิ II แอลซี

Group	T1			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
FB2	26.41 ^a	2.12	28.91 ^{a*}	1.98
FB3	26.38 ^a	2.39	28.78 ^{a*}	3.19
FB4	26.50 ^a	1.44	29.02 ^{a*}	2.42
FB5	25.98 ^{ab}	2.67	22.02 ^{b*}	2.42
FI3	26.93 ^a	3.23	27.96 ^{ab}	3.32
FI4	26.94 ^a	1.63	29.76 ^a	3.68
FI5	26.71 ^a	2.94	29.17 ^{a*}	2.50

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของวิทริเมอร์

Group	T1			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
VB2	14.80 ^{ab}	1.25	12.93 ^{a*}	0.87
VB3	13.65 ^{ab}	1.82	11.99 ^{a*}	1.41
VB4	14.68 ^{ab}	2.25	11.24 ^{a*}	1.67
VB5	16.02 ^a	1.18	13.20 ^{a*}	1.40
VI3	12.62 ^b	0.93	12.65 ^a	2.04
VI4	12.49 ^b	1.81	11.49 ^{a*}	1.64
VI5	13.03 ^{ab}	1.40	13.82 ^a	1.51

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาทีหลังสร้างชิ้นงาน (T1) ของคีแทคเอ็น 100

Group	T1			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
KB2	25.48 ^{ab}	1.83	22.54 ^{a*}	1.70
KB3	22.40 ^b	1.91	10.44 ^{b*}	2.09
KB4	22.89 ^{ab}	1.53	2.41 ^{d*}	0.21
KB5	25.81 ^a	1.13	4.40 ^{c*}	0.84
KI3	24.16 ^{ab}	2.82	23.21 ^a	1.91
KI4	23.04 ^{ab}	1.23	21.76 ^a	2.37
KI5	22.66 ^{ab}	1.22	21.60 ^{a*}	1.30

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของฟูจิ II แอลซี

Group	T2			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
FB2	32.96 ^a	3.50	35.44 ^{a*}	2.37
FB3	31.46 ^a	3.12	28.12 ^{c*}	2.45
FB4	30.67 ^a	2.28	28.14 ^{c*}	2.28
FB5	26.94 ^a	3.02	20.05 ^{d*}	2.21
FI3	33.97 ^a	4.10	34.44 ^{ab}	3.09
FI4	31.15 ^a	2.02	29.37 ^{bc*}	1.77
FI5	29.22 ^a	3.59	29.28 ^{bc}	1.55

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของวิทริเมอร์

Group	T2			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
VB2	29.10 ^{ab}	4.18	25.92 ^{ab*}	4.25
VB3	18.90 ^d	1.34	15.73 ^{cd*}	1.85
VB4	21.58 ^{cd}	1.32	17.65 ^{c*}	1.58
VB5	19.64 ^d	2.04	13.37 ^{d*}	1.67
VI3	26.00 ^{abcd}	3.14	27.84 ^{ab}	4.15
VI4	22.06 ^{bcd}	3.83	22.95 ^{b*}	2.73
VI5	30.43 ^a	2.25	30.39 ^a	1.75

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุดภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 วัน หลังสร้างชิ้นงาน (T2) ของเคีแทเคเอ็น 100

Group	T2			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
KB2	31.37 ^{ab}	2.55	31.50 ^{ab}	7.63
KB3	31.64 ^{abcd}	5.59	23.94 ^{ab*}	6.64
KB4	26.11 ^{cd}	1.54	4.14 ^{d*}	0.55
KB5	29.52 ^{abc}	2.10	7.18 ^{c*}	0.78
KI3	34.00 ^a	3.43	35.45 ^a	5.78
KI4	26.55 ^{cd}	2.59	25.86 ^{ab}	2.65
KI5	25.13 ^d	1.52	23.01 ^{b*}	1.53

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุลภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์ หลังสร้างชิ้นงาน (T3) ของพู่ใจ II แอลซี

Group	T3			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
FB2	35.78 ^{ab}	2.64	34.67 ^{ab}	5.32
FB3	38.68 ^a	4.59	35.50 ^{a*}	3.54
FB4	30.54 ^b	2.74	26.83 ^{bc*}	3.29
FB5	32.64 ^{ab}	2.12	24.48 ^{c*}	2.17
FI3	31.58 ^{ab}	2.38	30.49 ^{ab}	2.44
FI4	30.17 ^b	3.17	29.52 ^{ab}	2.01
FI5	31.76 ^{ab}	3.02	31.41 ^{abc}	5.00

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุลภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์ หลังสร้างชิ้นงาน (T3) ของวิหริเมอร์

Group	T3			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
VB2	24.18 ^{bcd}	2.78	21.45 ^{b*}	3.32
VB3	25.60 ^{abcd}	4.73	22.40 ^{abc*}	4.97
VB4	25.54 ^{abc}	2.57	19.11 ^{b*}	1.59
VB5	19.98 ^d	1.58	14.00 ^{c*}	1.39
VI3	23.73 ^{abcd}	4.00	21.13 ^{b*}	3.59
VI4	22.06 ^{cd}	3.99	21.43 ^b	3.40
VI5	29.94 ^a	2.00	28.56 ^a	1.75

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุลภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 สัปดาห์ หลังสร้างชิ้นงาน (T3) ของคีแทเคเอ็น 100

Group	T3			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
KB2	33.21 ^{ab}	5.04	28.49 ^{a*}	5.55
KB3	29.34 ^{ab}	3.69	23.42 ^{a*}	2.57
KB4	25.38 ^b	1.46	6.08 ^{c*}	1.27
KB5	28.59 ^a	1.66	14.14 ^{b*}	2.24
KI3	33.59 ^a	4.56	30.37 ^{a*}	4.02
KI4	28.52 ^{ab}	3.51	29.17 ^a	3.55
KI5	26.71 ^{ab}	1.11	24.68 ^{a*}	2.41

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็งแรงระดับจุลภาคด้านบนและล่างในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของฟูจิ II แอลซี

Group	T4			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
FB2	35.20 ^{ab}	4.06	35.04 ^{ab}	4.36
FB3	29.62 ^{ab}	2.15	28.62 ^{bc*}	1.65
FB4	28.06 ^b	2.40	25.04 ^{cd*}	2.15
FB5	28.21 ^b	1.51	23.11 ^{d*}	1.14
FI3	36.26 ^{ab}	4.79	36.47 ^a	3.94
FI4	32.76 ^a	1.95	28.77 ^{bc*}	1.64
FI5	30.80 ^{ab}	3.14	28.32 ^{bc*}	2.84

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความ แข็งผิวงระดับจุลภาคด้านบนและล่าง ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของวิทริเมอร์

Group	T4			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
VB2	26.28 ^{ab}	2.45	23.05 ^{b*}	1.56
VB3	28.66 ^{ab}	1.69	23.26 ^{b*}	2.11
VB4	25.64 ^{abc}	3.15	17.40 ^{c*}	1.93
VB5	20.37 ^c	1.60	12.93 ^{d*}	1.34
VI3	25.09 ^{ab}	2.03	21.79 ^{bc*}	3.03
VI4	23.02 ^{bc}	3.36	20.54 ^{bc*}	3.38
VI5	29.04 ^a	2.03	27.52 ^{a*}	1.72

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความ แข็งผิวงระดับจุลภาคด้านบนและล่าง ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน (T4) ของคีแทคเอ็น 100

Group	T4			
	Top	SD (top)	Bottom	SD (bottom)
KB2	37.11 ^a	4.94	35.71 ^a	5.41
KB3	31.06 ^{abc}	3.66	20.51 ^{c*}	3.38
KB4	25.94 ^c	1.17	6.88 ^{e*}	1.05
KB5	28.19 ^{bc}	1.77	13.27 ^{d*}	1.41
KI3	32.64 ^{ab}	2.51	28.85 ^{ab*}	3.58
KI4	25.44 ^c	2.43	24.26 ^{bc}	1.61
KI5	25.84 ^c	1.76	22.55 ^{bc*}	1.42

- * แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน
- ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคอลัมน์เดียวกัน ($p < 0.05$)

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของฟูจิ II แอลซี

Top hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
FB2	26.41 ^a	2.12	32.96 ^b	3.50	35.78 ^b	2.64	35.20 ^b	4.06
FB3	26.38 ^a	2.39	31.46 ^b	3.12	38.68 ^c	4.59	29.62 ^{a,b}	2.15
FB4	26.50 ^a	1.44	30.67 ^b	2.28	30.54 ^b	2.74	28.06 ^{a,b}	2.40
FB5	25.98 ^a	2.67	26.94 ^a	3.02	32.64 ^b	2.12	28.21 ^a	1.51
FI3	26.93 ^a	3.23	33.97 ^{b,c}	4.10	31.58 ^b	2.38	36.26 ^c	4.79
FI4	26.94 ^a	1.63	31.15 ^{b,c}	2.02	30.17 ^b	3.17	32.76 ^b	1.95
FI5	26.71 ^a	2.94	29.22 ^b	3.59	31.76 ^b	3.02	30.80 ^b	3.14

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของวิทริเมอร์

Top hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
VB2	14.80 ^a	1.25	29.10 ^b	4.18	24.18 ^c	2.78	26.28 ^{b,c}	2.45
VB3	13.65 ^a	1.82	18.90 ^b	1.34	25.60 ^c	4.73	28.66 ^d	1.69
VB4	14.68 ^a	2.25	21.58 ^b	1.32	25.54 ^c	2.57	25.64 ^c	3.15
VB5	16.02 ^b	1.18	19.64 ^b	2.04	19.98 ^b	1.58	20.37 ^b	1.60
VI3	12.62 ^a	0.93	26.00 ^b	3.14	23.73 ^b	4.00	25.09 ^b	2.03
VI4	12.49 ^a	1.81	22.06 ^b	3.83	22.06 ^b	3.99	23.02 ^b	3.36
VI5	13.03 ^a	1.40	30.43 ^b	2.25	29.94 ^b	2.00	29.04 ^b	2.03

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านบนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของคีแทคเอ็น 100

Top hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
KB2	25.48 ^a	1.83	31.37 ^b	2.55	33.21 ^b	5.04	37.11 ^c	4.94
KB3	22.40 ^a	1.91	31.64 ^b	5.59	29.34 ^b	3.69	31.06 ^b	3.66
KB4	22.89 ^a	1.53	26.11 ^b	1.54	25.38 ^b	1.46	25.94 ^b	1.17
KB5	25.81 ^a	1.13	29.52 ^b	2.10	28.59 ^b	1.66	28.19 ^b	1.77
KI3	24.16 ^a	2.82	34.00 ^b	3.43	33.59 ^b	4.56	32.64 ^b	2.51
KI4	23.04 ^a	1.23	26.55 ^b	2.59	28.52 ^b	3.51	25.44 ^{a,b}	2.43
KI5	22.66 ^a	1.22	25.13 ^b	1.52	26.71 ^c	1.11	25.84 ^{b,c}	1.76

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของฟูจิ II แอลซี

Bottom hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
FB2	28.91 ^a	1.98	35.44 ^b	2.37	34.67 ^b	5.32	35.04 ^b	4.36
FB3	28.78 ^a	3.19	28.12 ^a	2.45	35.50 ^b	3.54	28.62 ^a	1.65
FB4	29.02 ^a	2.42	28.14 ^a	2.28	26.83 ^{a,b}	3.29	25.04 ^b	2.15
FB5	22.02 ^{a,b}	2.42	20.05 ^a	2.21	24.48 ^c	2.17	23.11 ^{b,c}	1.14
FI3	27.96 ^a	3.32	34.44 ^{b,c}	3.09	30.49 ^{a,b}	2.44	36.47 ^c	3.94
FI4	29.76 ^a	3.68	29.37 ^a	1.77	29.52 ^a	2.01	28.77 ^a	1.64
FI5	29.17 ^a	2.50	29.28 ^a	1.55	31.41 ^a	5.00	28.32 ^a	2.84

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของวิทริเมอร์

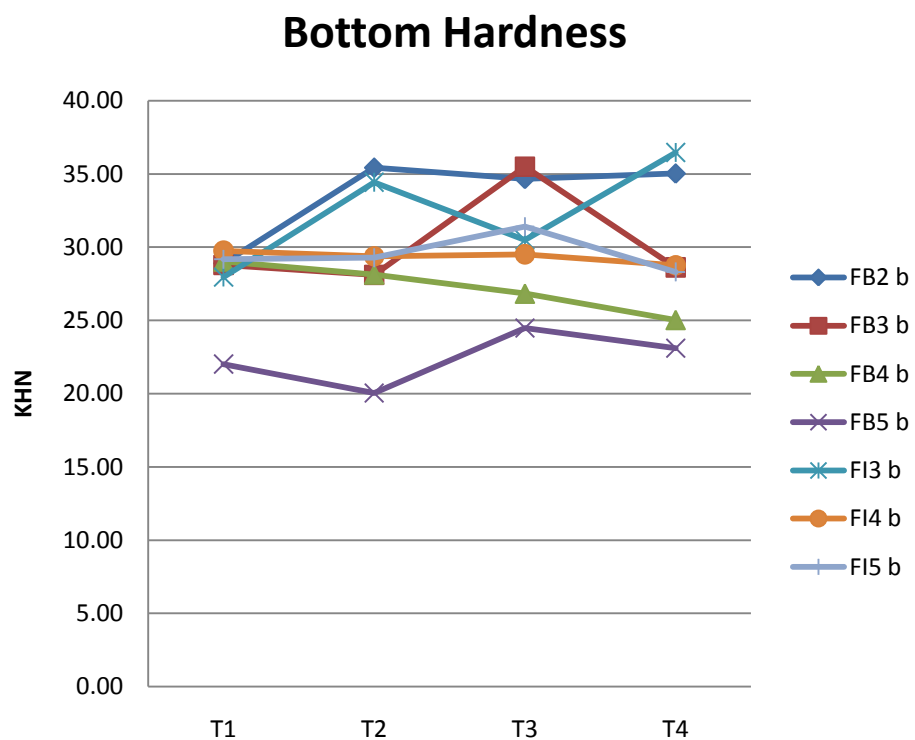
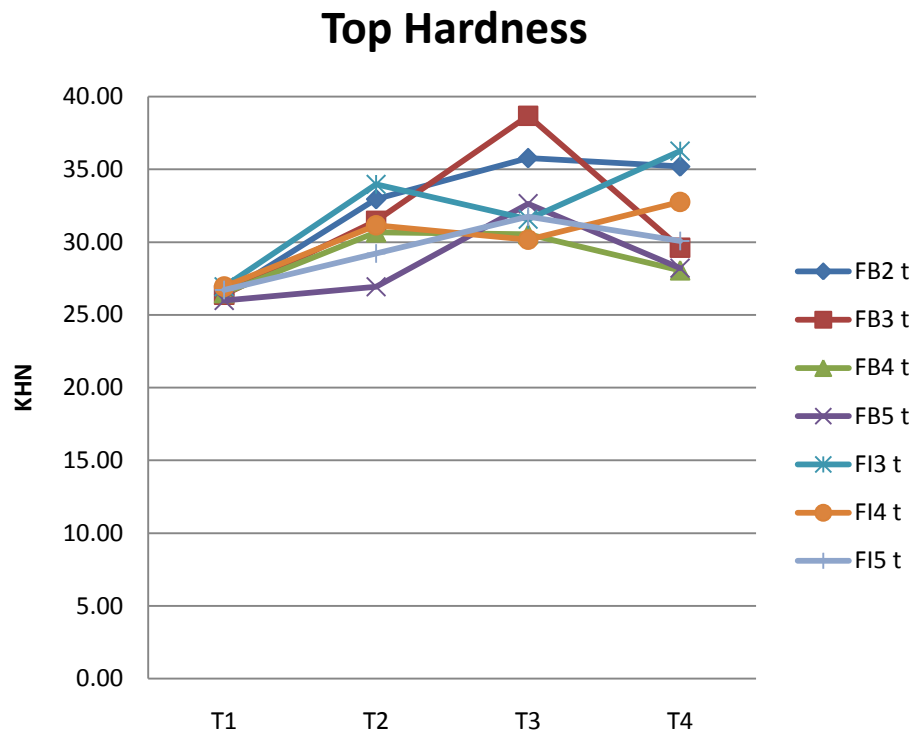
Bottom hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
VB2	12.93 ^a	0.87	25.92 ^b	4.25	21.45 ^c	3.32	23.05 ^{b,c}	1.56
VB3	11.99 ^a	1.41	15.73 ^b	1.85	22.40 ^c	4.97	23.26 ^c	2.11
VB4	11.24 ^a	1.67	17.65 ^b	1.58	19.11 ^b	1.59	17.40 ^b	1.93
VB5	13.20 ^a	1.40	13.37 ^a	1.67	14.00 ^a	1.39	12.93 ^a	1.34
VI3	12.65 ^a	2.04	27.84 ^b	4.15	21.13 ^c	3.59	21.79 ^{b,c}	3.03
VI4	11.49 ^a	1.64	22.95 ^b	2.73	21.43 ^b	3.40	20.54 ^b	3.38
VI5	13.82 ^a	1.51	30.39 ^b	1.75	28.56 ^{b,c}	1.75	27.52 ^c	1.72

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวด้านล่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) ของคีแทคเอ็น 100

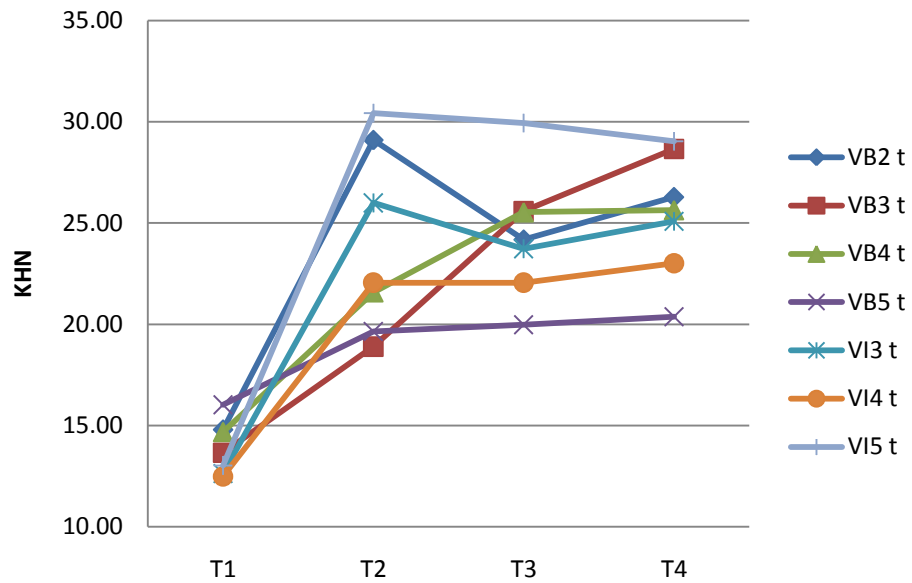
Bottom hardness								
Group	T1		T2		T3		T4	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
KB2	22.54 ^a	1.70	31.50 ^{b,c}	7.63	28.49 ^b	5.55	35.71 ^c	5.41
KB3	10.44 ^a	2.09	23.94 ^b	6.64	23.42 ^b	2.57	20.51 ^b	3.38
KB4	2.41 ^a	0.21	4.14 ^b	0.55	6.08 ^c	1.27	6.88 ^c	1.05
KB5	4.40 ^a	0.84	7.18 ^b	0.78	14.14 ^c	2.24	13.27 ^c	1.41
KI3	23.21 ^a	1.91	35.45 ^b	5.78	30.37 ^c	4.02	28.85 ^c	3.58
KI4	21.76 ^a	2.37	25.86 ^{b,c}	2.65	29.17 ^c	3.55	24.26 ^{a,b}	1.61
KI5	21.60 ^a	1.30	23.01 ^a	1.53	24.68 ^b	2.41	22.55 ^a	1.42

- ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรตัวยกที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

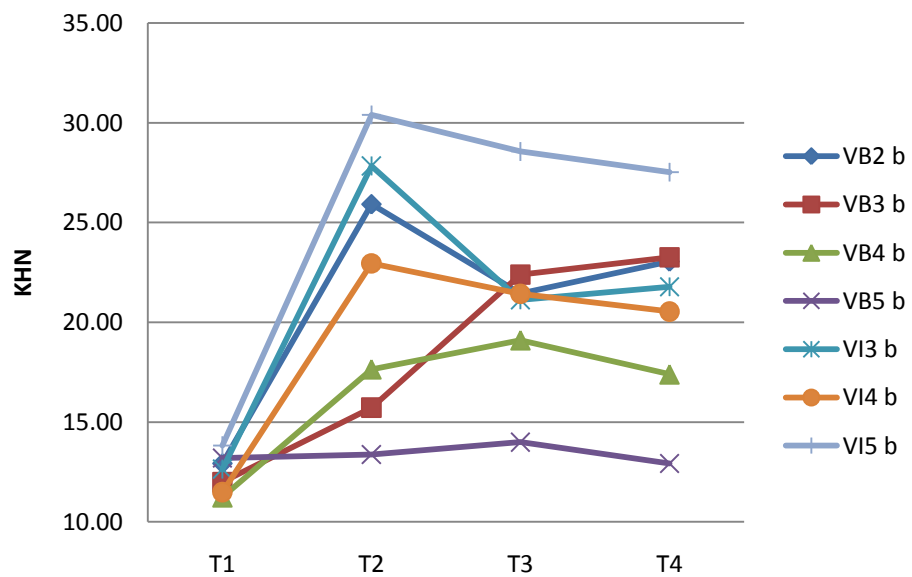


ภาพที่ 25 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว (KHN) ของ ฟุจิ II แอลซี ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน

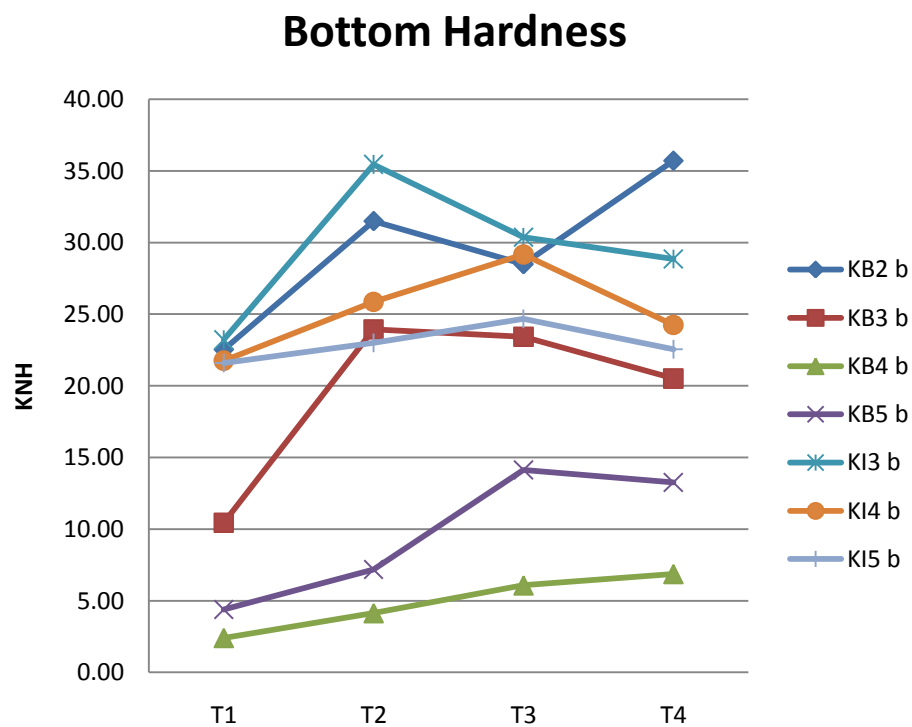
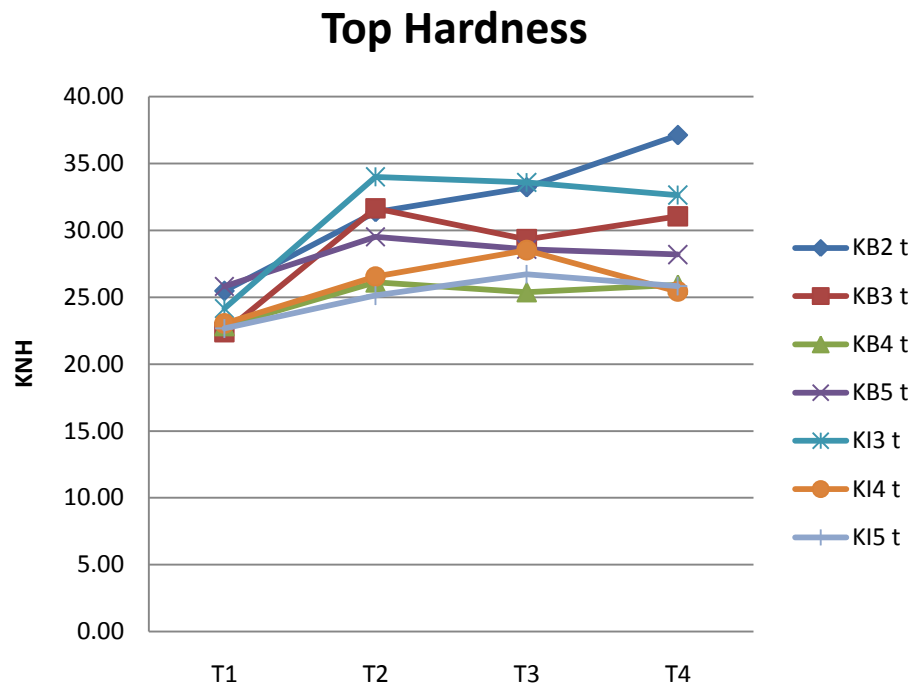
Top Hardness



Bottom Hardness



ภาพที่ 26 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว (KHN) ของวิทริเมอร์ ในแต่ละกลุ่มเป็นเวลา 1 เดือน ที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน



ภาพที่ 27 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิว (KHN) ของคีย์แทคเอ็น 100 ในแต่ละกลุ่มที่เวลา 15 นาที (T1) 1 วัน (T2) 1 สัปดาห์ (T3) และ 1 เดือน (T4) หลังการเตรียมชิ้นงาน

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความแข็งแรงผิวของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันของประเทศไทยโดยเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ที่เลือกใช้นั้นมีความแตกต่างกันทั้งในแง่ของส่วนประกอบขนาดของฟิลเลอร์ รวมถึงลักษณะรูปแบบผลิตภัณฑ์ อันอาจส่งผลต่อปฏิกิริยาการก่อตัวของวัสดุได้ จึงเป็นที่น่าสนใจในการเลือกผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นตัวแทนในการศึกษาโดยใช้การนำเสนอความแข็งแรงผิวด้านบน และด้านล่างของชิ้นงาน ส่วนใหญ่ความแข็งแรงผิวที่ผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสง จะมีค่ามากกว่าด้านตรงข้ามซึ่งไม่ได้รับแสง เนื่องจากด้านตรงข้ามมีระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงมากกว่า ดังนั้นความแข็งแรงผิวของผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจึงไม่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงผิวบริเวณอื่นๆของวัสดุนั้นๆได้ (53) มีผู้นำเสนอการใช้อัตราส่วนความแข็งแรงผิวโดยใช้ความแข็งแรงผิวส่วนล่างหารด้วยความแข็งแรงผิวส่วนบน เพื่อเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งชิ้น (23) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำผลของอัตราส่วนความแข็งแรงผิวมาใช้เปรียบเทียบ เนื่องจากการใช้อัตราส่วนความแข็งแรงผิวดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการนำมาใช้อภิปรายผลการวิจัยบางประเด็น

ฟูจิ II แอลซี ฟิลเลอร์มีส่วนประกอบของฟลูออโรอโรลู มิโนซิลิเกตกลาส มีปริมาณฟิลเลอร์ร้อยละ 76.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่าอีก 2 ผลิตภัณฑ์ ฟิลเลอร์มีขนาดอยู่ระหว่าง 4-50 ไมโครเมตร รูปแบบบรรจุภัณฑ์เป็นแบบแคปซูลจึงมีอัตราส่วนระหว่างส่วนที่มีน้ำและส่วนที่ไม่มีน้ำคงที่ นอกจากนี้การผสมจะใช้เครื่องปั่น ส่งผลให้การผสมผลิตภัณฑ์มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้องน้อยกว่า โดยมีการศึกษาก่อนหน้าที่แสดงให้เห็นว่าการผสมวัสดุที่อยู่ในรูปแบบแคปซูลจะได้วัสดุที่มีรูพรุนน้อยกว่า (28) คุณสมบัติเชิงกลดีกว่าเมื่อเทียบกับการผสมโดยมือ (11) จากผลการศึกษาค้นพบว่าค่าความแข็งแรงผิวด้านบนของฟูจิ II แอลซีในทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Roberts และคณะ (23) เนื่องจากผิวด้านบนของชิ้นงานเป็นบริเวณที่ได้รับแสงโดยตรง ดังนั้นปัจจัยด้านความหนารวมทั้งวิธีการบูรณะจึงไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงผิวด้านบนของวัสดุ ในขณะที่ปัจจัยดังกล่าวทั้งสองนั้นส่งผลต่อค่าความแข็งแรงผิวด้านล่างของวัสดุ กล่าวคือกรณีกลุ่มทดลองที่ทำการบูรณะแบบครั้งเดียวสำหรับวัสดุที่มีความหนา 3, 4 และ 5 มิลลิเมตรจะมีค่าความแข็งแรงผิวด้านล่างต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่วัสดุมีความหนา 5 มิลลิเมตร นั้นมีค่าความแข็งแรงผิวด้านล่างน้อยกว่ากลุ่มที่ความหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Roberts และคณะ (23) เนื่องจากเมื่อชิ้นงานมีความหนา

มากขึ้น ปริมาณความเข้มแสงที่ส่องผ่านมาที่ผิวด้านล่างของวัสดุจะน้อยลงจากความทึบแสงของวัสดุ และระยะทางจากปลายหลอดนำแสงเพิ่มขึ้น ทำให้การก่อดัวจากปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์เกิดได้น้อยลง ประเด็นที่น่าสนใจคือกรณีชิ้นงานที่มีความหนา 2 และ 3 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าความเข้มผิวด้านล่างมีค่ามากกว่าความเข้มผิวด้านบนในกลุ่มที่วัดความเข้มผิวหลังสร้างชิ้นงาน 15 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ รวมถึงฟลูอิ แอลซีที่มีความโปร่งแสง (translucency) มากกว่าวัสดุอื่น (30) จึงส่งผลให้แสงที่ทำการฉายสามารถผ่านไปยังผิวด้านล่างของวัสดุได้อย่างเต็มที่ จากข้อมูลดังกล่าวทั้งหมดจึงอาจอนุมานได้ว่ากรณีการบูรณะโพรงฟันด้วยวัสดุฟลูอิ แอลซีนั้น หากโพรงฟันมีความลึกไม่เกิน 2 มิลลิเมตรสามารถทำการบูรณะแบบครั้งเดียวได้ แต่หากโพรงฟันมีความลึกมากกว่า 2 มิลลิเมตร ควรเลือกใช้การบูรณะแบบเป็นชั้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของวัสดุ

สำหรับวิทริเมอร์ มีส่วนประกอบของฟิลเลอร์เป็นฟลูออโรออลูมิเนียมซิลิเกตกลาสขนาดระหว่าง 4-50 ไมโครเมตรเช่นเดียวกัน แต่มีปริมาณฟิลเลอร์ที่น้อยกว่าฟลูอิ แอลซี คือมีปริมาณร้อยละ 71.4 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้วิทริเมอร์ยังประกอบด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulfate) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ส่งผลให้หุ้มเมทาคริลเลท และอีมาในส่วนของเรซินสามารถก่อดัวได้เองในภาวะที่ไม่มีแสง ซึ่งน่าจะให้ผลดีในการเพิ่มความเข้มผิวของวัสดุในกรณีที่วัสดุมีความหนามาก แต่จากผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าความเข้มผิวด้านล่างของวัสดุเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่บูรณะแบบเป็นชั้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มผิวของวัสดุชนิดนี้ขึ้นกับปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ซึ่ง จะถูกกระตุ้นด้วยแสง และปฏิกิริยากรด-ด่างซึ่งเป็น 2 ปฏิกิริยาหลักมากกว่า Roberts และคณะ (23) พบว่าความเข้มผิวส่วนบนเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม สำหรับความเข้มผิวส่วนล่างเมื่อบูรณะแบบครั้งเดียวเฉพาะที่ความหนา 5 มิลลิเมตรเท่านั้นที่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาในครั้ง นี้ซึ่งความเข้มผิวด้านบนและล่างของวิทริเมอร์ที่บูรณะแบบครั้งเดียวที่ความหนา 3 4 และ 5 มิลลิเมตรต่างจากกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างกันในแง่ของการเตรียมและการเก็บชิ้นงานก่อนการทดสอบความเข้มผิว การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี ซึ่งเป็นเครื่องฉายแสงที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในการเตรียมชิ้นงาน รวมทั้งทำการเก็บชิ้นงานก่อนการทดสอบในน้ำกลั่น ทั้งนี้เพื่อจำลองสภาพให้ใกล้เคียงกับสภาวะในช่องปากซึ่งวัสดุมีการสัมผัสน้ำโดยตรงในขณะที่การศึกษาของ Roberts และคณะทำการเตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องฉายแสงชนิดฮาโลเจน และทำการเก็บชิ้นงานในสภาวะที่ควบคุมความชื้นที่ร้อยละ 98 ± 2 ซึ่งการเก็บชิ้นงานก่อนการทดสอบภายใต้สภาวะที่ควบคุมความชื้นในการศึกษาของ Roberts และคณะนั้น ส่งผลให้ชิ้นงานได้รับอิทธิพลจากความชื้นน้อยกว่า วัสดุจะมีการอัตรการดูดน้ำที่ช้า และสม่ำเสมอว่าการแช่ใน

น้ำโดยตรง (21) นอกจากนี้การทำงานของเครื่องฉายแสงฮาโลเจนจะเกิดพลังงานความร้อนขึ้นมากกว่าการใช้เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (58) โดย Lovell และคณะพบว่าอุณหภูมิจากเครื่องฉายแสงมีผลให้ไมโนเมอร์เกิดปฏิกิริยามากขึ้น (59) ทำให้ความแข็งแรงผิวด้านล่างของวิทรเมอร์เมื่อใช้เครื่องฉายแสงแบบฮาโลเจนมีค่ามากกว่ากรณีการใช้เครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (55)

สำหรับคิแทคเอ็น 100 นั้นมีฟิลเลอร์ที่ประกอบด้วยฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตกลาสร้อยละ 27 ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 ไมโครเมตร และนาโนฟิลล์ขนาด 5-25 นาโนเมตร ในอัตราส่วนร้อยละ 42 ซึ่งฟิลเลอร์ที่เป็นองค์ประกอบนี้มีขนาดเล็กกว่าใน 2 ผลิตภัณฑ์แรก รวมทั้งเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดนี้มีรูปแบบของผลิตภัณฑ์เป็นแบบเพสกับเพส ซึ่งมีส่วนที่เป็นเรซินมากที่สุด เมื่อเทียบกับวัสดุสองชนิดแรก ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้เองในภาวะที่ไม่มีแสง ส่งผลให้ความแข็งแรงผิวด้านล่างของวัสดุที่บ่มแบบครั้งเดียวที่ความหนา 4 และ 5 มิลลิเมตร มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ทำการบ่มแบบเป็นชั้น

การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงผิวของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นสะท้อนถึงการดำเนินต่อไปของการก่อตัวของวัสดุ โดยพบว่าวัสดุจะมีความแข็งแรงผิวที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะก่อตัวเต็มที่โดยมีอัตราเร็วในช่วง 1-2 วันแรก (52) จากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดอย่างค่อยเป็นค่อยไป จากเหตุผลดังกล่าวในการศึกษานี้จึงเลือกค่าความแข็งแรงผิวระดับจุลภาคที่วัดได้ ณ เวลา 1 วันมาเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่ม จากการศึกษาในอดีตที่ทดสอบหาความหนาที่พอเหมาะต่อการก่อตัวของเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (8, 31, 44) โดยส่วนใหญ่ความหนา 2 มิลลิเมตรจะเป็นความหนามากที่สุดที่แนะนำให้ใช้ในแต่ละชั้นในการบ่มวัสดุที่มีการก่อตัวจากการฉายแสงทางคลินิก จากการศึกษาในส่วนนี้ใหญ่พบว่าวัสดุที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะมีความแข็งแรงผิวส่วนล่างลดลง

สำหรับปัจจัยของวิธีการบ่มต่อค่าความแข็งแรงผิว วิธีการบ่มส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงผิวด้านบน เนื่องจากผิวด้านบนของชิ้นงานเป็นบริเวณที่ได้รับแสงโดยตรง ดังนั้นจึงไม่มีปัจจัยด้านความทึบแสงของวัสดุและระยะห่างจากปลายหลอดนำแสง แต่มีผลกับค่าความแข็งแรงผิวด้านล่างโดยเมื่อพิจารณาวิธีการบ่มที่ความหนาเท่ากัน การบ่มแบบครั้งเดียวจะมีค่าความแข็งแรงผิวน้อยกว่าเมื่อบ่มแบบเป็นชั้น เนื่องจากเมื่อชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มแสงที่ส่องผ่านมาที่ผิวด้านล่างของวัสดุจะน้อยลงจากความทึบแสงของวัสดุ และระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มแสงที่ส่องผ่านวัสดุมาที่ผิวด้านล่างนั้นลดลง สำหรับกลุ่มทดลองที่ทำการบ่มแบบเป็นชั้นนั้น การฉายแสงที่มากกว่า 1 ครั้ง ส่งผลให้พื้นผิวด้านล่างของวัสดุได้รับพลังงานแสงโดยรวมมากกว่าการบ่มแบบครั้งเดียว และในแต่ละชั้นมีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ดังนั้นปัจจัยของความทึบแสงของวัสดุจะน้อยกว่า ทำให้ผิวด้านล่างมีโอกาสในการได้รับความเข้มแสงที่มากกว่าการบ่มแบบครั้งเดียว ดังนั้น ค่าความแข็งแรงผิวด้านล่างจึง

มากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีการบวมแบบครั้งเดียว โดยเฉพาะที่ความหนา 5 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของวัสดุที่มีเรซินเป็นส่วนประกอบในการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ที่สมบูรณ์ ที่ความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (33) โดยการบวมแบบเป็นชั้นจะมีการเกิดการก่อตัวของโพลิเมอร์ได้ดีกว่าการบวมแบบครั้งเดียว อย่างไรก็ตามเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอเมอร์นี้มีการก่อตัวจากปฏิกิริยากรด-ด่างร่วมด้วย และในการศึกษานี้เลือกใช้เครื่องฉายแสงแอลอีดีซึ่งให้พลังงานแสงที่มาก ทำให้แสงสามารถส่องผ่านวัสดุไปที่ผิวด้านล่างได้ดีขึ้นจึงอาจพบความไม่แตกต่างของวิธีบวมที่ความหนา 3 และ 4 มิลลิเมตร

เมื่อนำแต่ละกลุ่มทดสอบหาค่าความแข็งผิวแบบจุดภาคที่เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน พบว่าเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอเมอร์ซีเมนต์แต่ละชนิด มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม (25) โดยพบว่า ความแข็งผิวด้านบนทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 1 วัน สะท้อนถึงการดำเนินการก่อตัวของวัสดุอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kanchanasavita (25) และ Yap (24) และคณะ ซึ่งสัมพันธ์กับการก่อตัวของวัสดุในส่วนปฏิกิริยากรด-ด่าง ภายหลังจากภาวะเจลของวัสดุ (gelation phase) โดยไฮดรอกซิลของแคลเซียมและอลูมิเนียมจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอกซิลบนสายโพลีอะคริเลตได้เกลือโพลีอะคริเลต (polyacrylate salt) ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายในการก่อตัวของวัสดุ ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุจะมีคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ดีขึ้น (7) การก่อตัวในช่วงแรกจะเกิดจากแคลเซียมโพลีอะคริเลต (calcium polyacrylate) ซึ่งละลายน้ำได้ การก่อตัวในช่วงหลังเกิดจาก โครงข่ายที่ไม่ละลายน้ำของอลูมิเนียมโพลีอะคริเลต (aluminium polyacrylate) ปฏิกิริยาดังกล่าวจะดำเนินต่อเนื่องภายหลังจากฉายแสง เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 1 วันและ 1 เดือน ความแข็งผิวด้านบนมีแนวโน้มคงที่ทั้งการบวมแบบครั้งเดียวและแบบเป็นชั้น โดยจากการศึกษาของ Uno และคณะ (27) พบว่า ในระยะเวลา 1 เดือน ทั้งวิธีเทอร์เมอร์และฟูจิ II แอลซี เมื่อทำการศึกษาในชั้นงานความหนา 3 มิลลิเมตร ความแข็งผิวมีแนวโน้มคงที่เช่นกัน เนื่องจากผิวด้านบนของวัสดุเป็นบริเวณที่มีการก่อตัวเต็มที่ทั้งในส่วนของการเกิดโพลิเมอร์และกรด-ด่าง อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้พบการเปลี่ยนแปลงความแข็งผิวด้านบนในบางกลุ่มเมื่อบวมแบบครั้งเดียวซึ่งให้ผล เช่นเดียวกับการศึกษาของ Roberts และคณะ (23) สันนิษฐานว่าเกิดจากความสามารรถในการดูดน้ำของวัสดุ (water sorption) (60)

วัสดุในแต่ละกลุ่มจะมีความแข็งผิวเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นกับวิธีการบวมและความหนา นอกจากนี้การดูดน้ำของวัสดุเป็นอีกปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการศึกษานี้ โดยในการศึกษานี้ได้แช่ชิ้นงานในน้ำกลั่น ซึ่งมีการศึกษาที่พบว่า ร้อยละ 90 ของเรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอเมอร์ซีเมนต์ จะเกิดการดูดน้ำในเวลา 1 สัปดาห์ และเกิดสมดุลที่ 2-3 สัปดาห์โดยน้ำ

ประพืดตัวเป็น พลาสติกไซเซออร์ (Plasticiser) ทำให้เกิดการอ่อนตัวและลดคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (60) ดังนั้นการดูดน้ำของวัสดุเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการดังนั้นข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อการศึกษาต่อไป จากการศึกษาในครั้งนี้พบข้อควรปรับปรุงในการเก็บชิ้นงานเนื่องจากในสภาพช่องปากเรซินมอดิฟาย ดักลาสไอโอโนเมอร์จะยึดกับเนื้อฟันทำให้พื้นผิวด้านล่างของชิ้นงานไม่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมในช่องปากโดยตรง จะได้รับความชื้นจากท่อเนื้อฟันเท่านั้น แต่เนื่องจากการศึกษาต้องการทราบความแข็งแรงด้านบนและด้านล่างของผลิตภัณฑ์จึงมีการออกแบบการทดลองออกมาดังกล่าว

สรุปผลการวิจัย

ความแข็งแรงด้านบนของเรซินมอดิฟายดักลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่บรูณะแบบครึ่งเดียวจะมีค่าแตกต่างกับความแข็งแรงด้านล่างของชิ้นงาน โดยพบว่าส่วนใหญ่ความแข็งแรงด้านบนมากกว่าความแข็งแรงด้านล่าง

ความแข็งแรงระดับจุลภาคที่ด้านบนของเรซินมอดิฟายดักลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ฉายแสงที่ความหนาต่างกันหรือวิธีการบรูณะต่างกันมีค่าแตกต่างกัน

ความแข็งแรงระดับจุลภาคที่ด้านล่างของเรซินมอดิฟายดักลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ฉายแสงที่ความหนาต่างกันหรือวิธีการบรูณะต่างกันมีค่าแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่มีการบรูณะแบบเป็นชั้น เมื่อใส่วัสดุในโลหะหล่อควรระมัดระวังไม่ให้วัสดุล้นเกินขอบด้านบนในแต่ละชั้นเนื่องจากจะทำให้การใส่แบบหล่อไม่แนบสนิทสำหรับการวางเมทริกซีไอให้แนบกับเรซินมอดิฟายดักลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ ละเอียด และค่อยๆ ไล่จนแนบสนิททั้งพื้นผิวเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศบนผิวชิ้นงานด้านบน การเก็บชิ้นงานยังไม่สามารถจำลองสภาวะในช่องปากได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปรับปรุงวิธีการทดลองต่อไป

ถึงแม้เรซินมอดิฟายดักลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมีการก่อตัวจาก 2 ปฏิกริยา คือ ปฏิกริยากรด-ด่างและปฏิกริยาการเกิดโพลีเมอร์ซึ่งจะถูกกระตุ้นด้วยแสง แต่สำหรับการผู้ที่มีความลึกมากกว่า 2 มิลลิเมตรควรเลือกใช้วิธีการบรูณะแบบเป็นชั้นเพื่อประสิทธิภาพในการก่อตัวที่สมบูรณ์ของวัสดุ

รายการอ้างอิง

- (1) Kielbassa, A. M., Hinkelbein, W., Hellwig, E. and Meyer-Luckel, H. Radiation-related damage to dentition. Lancet Oncol 7 (Apr 2006):326-35.
- (2) Silva, A. R., Alves, F. A., Berger, S. B., Giannini, M., Goes, M. F. and Lopes, M. A. Radiation-related caries and early restoration failure in head and neck cancer patients. A polarized light microscopy and scanning electron microscopy study. Support Care Cancer 18 (Apr 2010):83-7.
- (3) Hse, K. M., Leung, S. K. and Wei, S. H. Resin-ionomer restorative materials for children: a review. Aust Dent J 44 (Mar 1999):1-11.
- (4) Burgess, J. O. and Gallo, J. R. Treating root-surface caries. Dent Clin North Am 46 (Apr 2002):385-404.
- (5) Noort, R. v. Introduction to dental materials. third ed. London: Mosby, 2007.
- (6) Anusavice, K. J. Phillips' Science of dental materials. eleventh ed. Missouri: Saunders, 2003.
- (7) Wilson, A. D. Resin-modified glass-ionomer cements. Int J Prosthodont 3 (Sep-Oct 1990):425-9.
- (8) McCabe, J. F. Resin-modified glass-ionomers. Biomaterials 19 (Mar 1998):521-7.
- (9) Wiegand, A., Buchalla, W. and Attin, T. Review on fluoride-releasing restorative materials--fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. Dent Mater 23 (Mar 2007):343-62.
- (10) Wilson, A. D. and Kent, B. E. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. Br Dent J 132 (Feb 1972):133-5.
- (11) Ilie, N. and Hickel, R. Mechanical behavior of glass ionomer cements as a function of loading condition and mixing procedure. Dent Mater J 26 (Jul 2007):526-33.

- (12) Craig, R. G. and Powers, J. M. Restorative dental materials. eleventh ed. St. Louis: Mosby, 2002.
- (13) Davidson, C. L. and Mjor, I. A. Advances in glass ionomer cements. Germany: Quintessence Publishing Co., 1999.
- (14) Yelamanchili, A. and Darvell, B. W. Network competition in a resin-modified glass-ionomer cement. Dent Mater 24 (Aug 2008):1065-9.
- (15) Mount, G. J. and Hume, W. R. Preservation and restoration of tooth structure. second ed. Queensland: Knowledge Books and Software, 2005.
- (16) Pachuta, S. M. and Meiers, J. C. Dentin surface treatments and glass ionomer microleakage. Am J Dent 8 (Aug 1995):187-90.
- (17) Desai, M. and Tyas, M. J. Adhesion to enamel of light-cured poly-acid dental materials. Aust Dent J 41 (Dec 1996):393-7.
- (18) Bouschlicher, M. R., Vargas, M. A. and Denehy, G. E. Effect of desiccation on microleakage of five Class 5 restorative materials. Oper Dent 21 (May-Jun 1996):90-5.
- (19) Cardoso, M. V., Delme, K. I., Mine, A., Neves Ade, A., Coutinho, E., De Moor, R. J., et al. Towards a better understanding of the adhesion mechanism of resin-modified glass-ionomers by bonding to differently prepared dentin. J Dent 38 (Nov 2010):921-9.
- (20) Swift, E. J., Jr., Pawlus, M. A. and Vargas, M. A. Shear bond strengths of resin-modified glass-ionomer restorative materials. Oper Dent 20 (Jul-Aug 1995):138-43.
- (21) Cattani-Lorente, M. A., Dupuis, V., Payan, J., Moya, F. and Meyer, J. M. Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. Dent Mater 15 (Jan 1999):71-8.

- (22) Cattani-Lorente, M. A., Dupuis, V., Moya, F., Payan, J. and Meyer, J. M. Comparative study of the physical properties of a polyacid-modified composite resin and a resin-modified glass ionomer cement. Dent Mater 15 (Jan 1999):21-32.
- (23) Roberts, H. W., Berzins, D. W. and Charlton, D. G. Hardness of three resin-modified glass-ionomer restorative materials as a function of depth and time. J Esthet Restor Dent 21 (2009):262-72.
- (24) Yap, A. U. Post-irradiation hardness of resin-modified glass ionomer cements and a polyacid-modified composite resin. J Mater Sci Mater Med 8 (Jul 1997):413-6.
- (25) Kanchanasavita, W., Anstice, H. M. and Pearson, G. J. Long-term surface micro-hardness of resin-modified glass ionomers. J Dent 26 (Nov 1998):707-12.
- (26) Lewis, B. A., Burgess, J. O. and Gray, S. E. Mechanical properties of dental base materials. Am J Dent 5 (Apr 1992):69-72.
- (27) Uno, S., Finger, W. J. and Fritz, U. Long-term mechanical characteristics of resin-modified glass ionomer restorative materials. Dent Mater 12 (Jan 1996):64-9.
- (28) Covey, D. A. and Ewoldsen, N. O. Porosity in manually and machine mixed resin-modified glass ionomer cements. Oper Dent 26 (Nov-Dec 2001):617-23.
- (29) Wilder, A. D., Boghosian, A. A., Bayne, S. C., Heymann, H. O., Sturdevant, J. R. and Roberson, T. M. Effect of powder/liquid ratio on the clinical and laboratory performance of resin-modified glass-ionomers. J Dent 26 (May 1998):369-77.
- (30) Mount, G. J., Patel, C. and Makinson, O. F. Resin modified glass-ionomers: strength, cure depth and translucency. Aust Dent J 47 (Dec 2002):339-43.

- (31) Swift, E. J., Jr., Pawlus, M. A., Vargas, M. A. and Fortin, D. Depth of cure of resin-modified glass ionomers. Dent Mater 11 (May 1995):196-200.
- (32) Park, J., Chang, J., Ferracane, J. and Lee, I. B. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? Dent Mater 24 (Nov 2008):1501-5.
- (33) Rueggeberg, F. A., Ergle, J. W. and Mettenburg, D. J. Polymerization depths of contemporary light-curing units using microhardness. J Esthet Dent 12 (2000):340-9.
- (34) Deliperi, S. and Bardwell, D. N. An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. J Am Dent Assoc 133 (Oct 2002):1387-98.
- (35) Koprulu, H., Gurgan, S. and Onen, A. Marginal seal of a resin-modified glass-ionomer restorative material: an investigation of placement techniques. Quintessence Int 26 (Oct 1995):729-32.
- (36) Anstice, H. M., Nicholson, J. W. and McCabe, J. F. The effect of using layered specimens for determination of the compressive strength of glass-ionomer cements. J Dent Res 71 (Dec 1992):1871-4.
- (37) Shortall, A. C., Harrington, E. and Wilson, H. J. Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers. J Dent 23 (Aug 1995):227-32.
- (38) Nomoto, R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mater J 16 (Jun 1997):60-73.
- (39) Rueggeberg, F. A., Caughman, W. F. and Curtis, J. W., Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent 19 (Jan-Feb 1994):26-32.

- (40) Young, A. M. FTIR investigation of polymerisation and polyacid neutralisation kinetics in resin-modified glass-ionomer dental cements. Biomaterials 23 (Aug 2002):3289-95.
- (41) Kakaboura, A. I., Eliades, G. C. and Palaghias, G. Laboratory evaluation of three visible light-cured resinous liners. J Dent 24 (May 1996):223-31.
- (42) Young, A. M., Sherpa, A., Pearson, G., Schottlander, B. and Waters, D. N. Use of Raman spectroscopy in the characterisation of the acid-base reaction in glass-ionomer cements. Biomaterials 21 (Oct 2000):1971-9.
- (43) Villat, C., Tran, V. X., Pradelle-Plasse, N., Ponthiaux, P., Wenger, F., Grosogeat, B., et al. Impedance methodology: A new way to characterize the setting reaction of dental cements. Dent Mater 26 (Aug 19 2010):1127-32.
- (44) Burke, F. M., Hamlin, P. D. and Lynch, E. J. Depth of cure of light-cured glass-ionomer cements. Quintessence Int 21 (Dec 1990):977-81.
- (45) Ferracane, J. L., Aday, P., Matsumoto, H. and Marker, V. A. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. Dent Mater 2 (Apr 1986):80-4.
- (46) Yearn, J. A. Factors affecting cure of visible light activated composites. Int Dent J 35 (Sep 1985):218-25.
- (47) DeWald, J. P. and Ferracane, J. L. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 66 (Mar 1987):727-30.
- (48) Pereira, S. G., Osorio, R., Toledano, M. and Nunes, T. G. Evaluation of two Bis-GMA analogues as potential monomer diluents to improve the mechanical properties of light-cured composite resins. Dent Mater 21 (Sep 2005):823-30.

- (49) Rueggeberg, F. A. and Craig, R. G. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. J Dent Res 67 (Jun 1988):932-7.
- (50) Willems, G., Celis, J. P., Lambrechts, P., Braem, M. and Vanherle, G. Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. J Biomed Mater Res 27 (Jun 1993):747-55.
- (51) เจน รัตน์ไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิชย์, 2522.
- (52) Bourke, A. M., Walls, A. W. and McCabe, J. F. Light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cements: the setting reaction. J Dent 20 (Apr 1992):115-20.
- (53) Pires, J. A., Cvitko, E., Denehy, G. E. and Swift, E. J., Jr. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. Quintessence Int 24 (Jul 1993):517-21.
- (54) Polydorou, O., Manolakis, A., Hellwig, E. and Hahn, P. Evaluation of the curing depth of two translucent composite materials using a halogen and two LED curing units. Clin Oral Investig 12 (Mar 2008):45-51.
- (55) Cefaly, D. F., de Mello, L. L., Wang, L., Lauris, J. R. and D'Alpino, P. H. Effect of light curing unit on resin-modified glass-ionomer cements: a microhardness assessment. J Appl Oral Sci 17 (May-Jun 2009):150-4.
- (56) Basting, R. T., Serra, M. C. and Rodrigues, A. L. In situ microhardness evaluation of glass-ionomer/composite resin hybrid materials at different post-irradiation times. J Oral Rehabil 29 (2002):1187-95.
- (57) Silva, K. G., Pedrini, D., Delbem, A. C. and Cannon, M. Microhardness and fluoride release of restorative materials in different storage media. Braz Dent J 18 (2007):309-13.

- (58) Rafeek, R. N. The effects of heat treatment on selected properties of a conventional and a resin-modified glass ionomer cement. J Mater Sci Mater Med 19 (May 2008):1913-20.
- (59) Lovell, L. G., Newman, S. M., Donaldson, M. M. and Bowman, C. N. The effect of light intensity on double bond conversion and flexural strength of a model, unfilled dental resin. Dent Mater 19 (Sep 2003):458-65.
- (60) Kanchanasavita, W., Anstice, H. M. and Pearson, G. J. Water sorption characteristics of resin-modified glass-ionomer cements. Biomaterials 18 (Feb 1997):343-9.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์การกระจายข้อมูล

ตารางวิเคราะห์การกระจายข้อมูลของค่าความแข็งผิวระดับจุดภาคที่เวลา 15 นาทีภายหลังการ
สร้างชิ้นงาน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (T1)

Group	Asymp. Sig. (2-tailed)	
	Top	Bottom
FB2	.460	.727
FB3	.993	.954
FB4	.505	.957
FB5	.895	.854
FI3	.608	.967
FI4	.993	.443
FI5	.921	.935
VB2	.376	.639
VB3	.843	.733
VB4	.645	.947
VB5	.960	.873
VI3	.897	.509
VI4	.993	.979
VI5	.855	.990
KB2	.805	1.000
KB3	.999	.982
KB4	.958	.467
KB5	.994	.895
KI3	.992	.724
KI4	.995	.626
KI5	.998	.932

ตารางวิเคราะห์การกระจายข้อมูลของค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคที่เวลา 1 วันภายหลังการสร้าง
ขึ้นงาน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (T2)

Group	Asymp. Sig. (2-tailed)	
	Top	Bottom
FB2	.855	.386
FB3	.929	.845
FB4	.960	.905
FB5	.731	.627
FI3	.999	.614
FI4	.928	.503
FI5	.613	.729
VB2	.775	.754
VB3	.976	.987
VB4	.863	.671
VB5	.996	.873
VI3	1.000	.970
VI4	.999	.883
VI5	1.000	.825
KB2	.767	.998
KB3	.787	.304
KB4	.730	.949
KB5	.937	.768
KI3	.791	.988
KI4	.661	.950
KI5	.965	.985

ตารางวิเคราะห์การกระจายข้อมูลของค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคที่เวลา 1 สัปดาห์ภายหลังการ
สร้างชิ้นงาน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (T3)

Group	Asymp. Sig. (2-tailed)	
	Top	Bottom
FB2	.999	.968
FB3	.498	.997
FB4	.953	.993
FB5	.573	.948
FI3	.979	.514
FI4	.858	.983
FI5	.869	.149
VB2	.650	.816
VB3	.929	.880
VB4	.974	.972
VB5	.847	.825
VI3	.967	.984
VI4	.999	.875
VI5	.995	.975
KB2	.963	.756
KB3	.786	.971
KB4	.636	.995
KB5	.992	.822
KI3	.892	.544
KI4	.770	.338
KI5	.809	.966

ตารางวิเคราะห์การกระจายข้อมูลของค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคที่เวลา 1 เดือนภายหลังการ
สร้างชิ้นงาน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (T4)

Group	Asymp. Sig. (2-tailed)	
	Top	Bottom
FB2	.374	.748
FB3	.990	.997
FB4	.990	.999
FB5	.976	.725
FI3	.936	.995
FI4	.984	.989
FI5	.940	.992
VB2	.981	.780
VB3	.875	.865
VB4	.763	.814
VB5	.976	.785
VI3	.352	.958
VI4	.933	.990
VI5	.959	.898
KB2	.873	.813
KB3	.852	.877
KB4	.932	.965
KB5	.836	1.000
KI3	.999	.986
KI4	.965	.998
KI5	.899	.987

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของค่าความแข็งผิวดระดับจุลภาค

ตารางแสดงความแตกต่างระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของค่าความแข็งผิวดระดับจุลภาคในแต่ละกลุ่มตัวอย่างของเรซินมอดิไฟด์กลาสไฟเบอร์ที่เวลา 15 นาที 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน หลังสร้างชิ้นงาน

Paired Samples Test

Group	Asymp. Sig. (2-tailed)			
	T1	T2	T3	T4
FB2	.049	.026	.576	.817
FB3	.012	.001	.024	.004
FB4	.011	.001	.001	.002
FB5	.000	.000	.000	.000
FI3	.445	.523	.176	.853
FI4I	.056	.039	.331	.000
FI5	.004	.954	.746	.000
VB2	.000	.000	.005	.000
VB3	.005	.000	.000	.000
VB4	.000	.000	.000	.000
VB5	.005	.000	.000	.000
VI3	.969	.113	.001	.001
VI4	.025	.040	.346	.001
VI5	.124	.950	.051	.008
KB2	.003	.941	.004	.175
KB3	.000	.001	.000	.000
KB4	.000	.000	.000	.000
KB5	.000	.000	.000	.000
KI3	.158	.242	.000	.003
KI4	.098	.342	.560	.107
KI5	.001	.000	.008	.000

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนและด้านล่าง
ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของฟลูอิ แอลซีทีเวลาวัด
ภายหลังการสร้างขึ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
.726	6	63	.630

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.964 ^a	6	1.161	.198	.976
Intercept	47450.967	1	47450.967	8085.985	.000
TECH	4.959	1	4.959	.845	.361
DEPTH	1.696	3	.565	.096	.962
TECH * DEPTH	.208	2	.104	.018	.982
Error	369.703	63	5.868		
Total	49711.878	70			
Corrected Total	376.667	69			

a. R Squared = .018 (Adjusted R Squared = -.075)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.964	6	1.161	.198	.976
Within Groups	369.703	63	5.868		
Total	376.667	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของฟูลิ แอลซีที่เวลาวัด
ภายหลังจากการสร้างขึ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HT

F	df1	df2	Sig.
1.614	6	63	.158

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	326.032 ^a	6	54.339	5.429	.000
Intercept	65144.044	1	65144.044	6508.046	.000
TECH	46.376	1	46.376	4.633	.035
DEPTH	298.565	3	99.522	9.942	.000
TECH * DEPTH	12.293	2	6.146	.614	.544
Error	630.615	63	10.010		
Total	67818.070	70			
Corrected Total	956.648	69			

a. R Squared = .341 (Adjusted R Squared = .278)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	326.032	6	54.339	5.429	.000
Within Groups	630.615	63	10.010		
Total	956.648	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของฟลูอี แอลซีทีเวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
2.503	6	63	.031

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	10.395	6	48.253	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	577.597 ^a	6	96.266	10.395	.000
Intercept	73012.701	1	73012.701	7883.876	.000
TECH	116.622	1	116.622	12.593	.001
DEPTH	256.819	3	85.606	9.244	.000
TECH * DEPTH	140.402	2	70.201	7.580	.001
Error	583.444	63	9.261		
Total	77476.865	70			
Corrected Total	1161.041	69			

a. R Squared = .497 (Adjusted R Squared = .450)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	577.597	6	96.266	10.395	.000
Within Groups	583.444	63	9.261		
Total	1161.041	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความพึงมิวด้านบนของฟูจิ II แอลซีที่เวลาวัด
ภายหลังการสร้างขึ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
1.941	6	63	.088

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	645.904 ^a	6	107.651	11.462	.000
Intercept	69160.954	1	69160.954	7363.672	.000
TECH	323.640	1	323.640	34.458	.000
DEPTH	450.347	3	150.116	15.983	.000
TECH * DEPTH	40.928	2	20.464	2.179	.122
Error	591.708	63	9.392		
Total	70947.340	70			
Corrected Total	1237.611	69			

a. R Squared = .522 (Adjusted R Squared = .476)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	645.904	6	107.651	11.462	.000
Within Groups	591.708	63	9.392		
Total	1237.611	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของฟูจิ แอลซีที่เวลาวัด
ภายหลังจากการสร้างขึ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
.743	6	63	.617

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	426.570 ^a	6	71.095	8.799	.000
Intercept	53277.036	1	53277.036	6593.919	.000
TECH	83.190	1	83.190	10.296	.002
DEPTH	193.744	3	64.581	7.993	.000
TECH * DEPTH	178.485	2	89.243	11.045	.000
Error	509.022	63	8.080		
Total	55597.410	70			
Corrected Total	935.593	69			

a. R Squared = .456 (Adjusted R Squared = .404)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	426.570	6	71.095	8.799	.000
Within Groups	509.023	63	8.080		
Total	935.593	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของฟูจิ แอลซีทีเวลาวัด
ภายหลังการสร้างขึ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
1.301	6	63	.270

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1523.245 ^a	6	253.874	48.357	.000
Intercept	60452.498	1	60452.498	11514.657	.000
TECH	469.560	1	469.560	89.439	.000
DEPTH	1195.335	3	398.445	75.894	.000
TECH * DEPTH	163.742	2	81.871	15.594	.000
Error	330.753	63	5.250		
Total	61784.330	70			
Corrected Total	1853.998	69			

a. R Squared = .822 (Adjusted R Squared = .805)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1523.245	6	253.874	48.357	.000
Within Groups	330.753	63	5.250		
Total	1853.998	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของพุทึ แอลซีทีเวลาดัด
ภายหลังการสร้างชิ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
2.944	6	63	.013

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	11.980	6	42.353	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	938.010 ^a	6	156.335	11.980	.000
Intercept	63534.265	1	63534.265	4868.664	.000
TECH	35.267	1	35.267	2.703	.105
DEPTH	571.180	3	190.393	14.590	.000
TECH * DEPTH	366.655	2	183.328	14.048	.000
Error	822.127	63	13.050		
Total	66503.028	70			
Corrected Total	1760.137	69			

a. R Squared = .533 (Adjusted R Squared = .488)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	938.010	6	156.335	11.980	.000
Within Groups	822.127	63	13.050		
Total	1760.137	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของฟูลิ แอลซีที่เวลาวัด
ภายหลังการสร้างขึ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
3.475	6	63	.005

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	30.838	6	37.134	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1424.440 ^a	6	237.407	30.838	.000
Intercept	60648.069	1	60648.069	7877.895	.000
TECH	469.281	1	469.281	60.957	.000
DEPTH	1201.942	3	400.647	52.042	.000
TECH * DEPTH	43.464	2	21.732	2.823	.067
Error	485.006	63	7.699		
Total	62147.402	70			
Corrected Total	1909.447	69			

a. R Squared = .746 (Adjusted R Squared = .722)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1424.440	6	237.407	30.838	.000
Within Groups	485.006	63	7.699		
Total	1909.447	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของวิทริเมอร์ที่เวลาวัดภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
1.900	6	63	.095

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103.647 ^a	6	17.274	6.945	.000
Intercept	12785.182	1	12785.182	5139.952	.000
TECH	64.377	1	64.377	25.881	.000
DEPTH	20.078	3	6.693	2.691	.054
TECH * DEPTH	9.758	2	4.879	1.961	.149
Error	156.707	63	2.487		
Total	13776.715	70			
Corrected Total	260.354	69			

a. R Squared = .398 (Adjusted R Squared = .341)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	103.647	6	17.274	6.945	.000
Within Groups	156.707	63	2.487		
Total	260.354	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของวิทริเมอร์ที่เวลาวัดภายหลังการสร้างขึ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
2.821	6	63	.017

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	26.832	6	40.491	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1260.317 ^a	6	210.053	26.832	.000
Intercept	40903.868	1	40903.868	5225.023	.000
TECH	562.122	1	562.122	71.805	.000
DEPTH	732.215	3	244.072	31.177	.000
TECH * DEPTH	273.177	2	136.588	17.448	.000
Error	493.193	63	7.828		
Total	41927.243	70			
Corrected Total	1753.510	69			

a. R Squared = .719 (Adjusted R Squared = .692)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1260.317	6	210.053	26.832	.000
Within Groups	493.193	63	7.828		
Total	1753.510	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความพึงพุด้านบนของอิทธิเมอริที่เวลาวัดภายหลังการสร้างขึ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
2.804	6	63	.018

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	9.155	6	44.742	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	589.785 ^a	6	98.297	9.155	.000
Intercept	40397.175	1	40397.175	3762.449	.000
TECH	35.574	1	35.574	3.313	.073
DEPTH	16.323	3	5.441	.507	.679
TECH * DEPTH	538.875	2	269.438	25.094	.000
Error	676.427	63	10.737		
Total	43043.955	70			
Corrected Total	1266.212	69			

a. R Squared = .466 (Adjusted R Squared = .415)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	589.785	6	98.297	9.155	.000
Within Groups	676.427	63	10.737		
Total	1266.212	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของอิฐเมอริที่เวลาวัดภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HT

F	df1	df2	Sig.
1.688	6	63	.139

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	557.534 ^a	6	92.922	15.903	.000
Intercept	43827.693	1	43827.693	7500.914	.000
TECH	10.209	1	10.209	1.747	.191
DEPTH	89.819	3	29.940	5.124	.003
TECH * DEPTH	463.813	2	231.906	39.690	.000
Error	368.108	63	5.843		
Total	46231.738	70			
Corrected Total	925.641	69			

a. R Squared = .602 (Adjusted R Squared = .564)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	557.534	6	92.922	15.903	.000
Within Groups	368.108	63	5.843		
Total	925.641	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของอิฐเมอริที่เวลาวัดภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
.815	6	63	.562

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	53.136 ^a	6	8.856	3.731	.003
Intercept	10551.648	1	10551.648	4445.250	.000
TECH	3.901	1	3.901	1.644	.205
DEPTH	50.967	3	16.989	7.157	.000
TECH * DEPTH	.491	2	.245	.103	.902
Error	149.543	63	2.374		
Total	11092.730	70			
Corrected Total	202.678	69			

a. R Squared = .262 (Adjusted R Squared = .192)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	53.136	6	8.856	3.731	.003
Within Groups	149.543	63	2.374		
Total	202.678	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของอิฐที่เวลาวัดภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
4.410	6	63	.001

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	54.212	6	37.458	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2534.305 ^a	6	422.384	54.212	.000
Intercept	35570.144	1	35570.144	4565.347	.000
TECH	1975.134	1	1975.134	253.504	.000
DEPTH	832.247	3	277.416	35.606	.000
TECH * DEPTH	346.713	2	173.357	22.250	.000
Error	490.854	63	7.791		
Total	36830.400	70			
Corrected Total	3025.159	69			

a. R Squared = .838 (Adjusted R Squared = .822)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2534.305	6	422.384	54.212	.000
Within Groups	490.854	63	7.791		
Total	3025.159	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงมวลกลางของอิฐเมอร์ที่เวลาวัดภายหลังการสร้างชิ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
4.741	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	19.324	6	39.257	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1119.972 ^a	6	186.662	19.324	.000
Intercept	31156.123	1	31156.123	3225.403	.000
TECH	406.641	1	406.641	42.097	.000
DEPTH	88.474	3	29.491	3.053	.035
TECH * DEPTH	688.969	2	344.484	35.662	.000
Error	608.555	63	9.660		
Total	33043.218	70			
Corrected Total	1728.527	69			

a. R Squared = .648 (Adjusted R Squared = .614)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1119.972	6	186.662	19.324	.000
Within Groups	608.555	63	9.660		
Total	1728.527	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านข้างของวิหริเมอริที่เวลาวัดภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
2.049	6	63	.072

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1306.861 ^a	6	217.810	42.395	.000
Intercept	30839.848	1	30839.848	6002.695	.000
TECH	440.917	1	440.917	85.820	.000
DEPTH	331.422	3	110.474	21.503	.000
TECH * DEPTH	683.683	2	341.842	66.536	.000
Error	323.673	63	5.138		
Total	32278.335	70			
Corrected Total	1630.534	69			

a. R Squared = .801 (Adjusted R Squared = .783)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1306.861	6	217.810	42.395	.000
Within Groups	323.673	63	5.138		
Total	1630.534	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของคิแทเคเอ็น100 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
2.767	6	63	.019

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	6.290	6	42.285	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	116.391 ^a	6	19.398	6.290	.000
Intercept	38167.320	1	38167.320	12374.895	.000
TECH	2.501	1	2.501	.811	.371
DEPTH	41.257	3	13.752	4.459	.007
TECH * DEPTH	62.650	2	31.325	10.156	.000
Error	194.308	63	3.084		
Total	39875.865	70			
Corrected Total	310.699	69			

a. R Squared = .375 (Adjusted R Squared = .315)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	116.391	6	19.398	6.290	.000
Within Groups	194.308	63	3.084		
Total	310.699	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านของคิแทคเอ็น100 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
6.972	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	11.962	6	31.200	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	669.583 ^a	6	111.597	11.962	.000
Intercept	57536.544	1	57536.544	6167.456	.000
TECH	4.240	1	4.240	.454	.503
DEPTH	527.668	3	175.889	18.854	.000
TECH * DEPTH	121.156	2	60.578	6.493	.003
Error	587.730	63	9.329		
Total	60889.565	70			
Corrected Total	1257.313	69			

a. R Squared = .533 (Adjusted R Squared = .488)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	669.583	6	111.597	11.962	.000
Within Groups	587.730	63	9.329		
Total	1257.313	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของคีมเหล็ก 100 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากการสร้างชิ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:HT

F	df1	df2	Sig.
5.379	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	8.476	6	38.595	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	568.374 ^a	6	94.729	8.476	.000
Intercept	59154.651	1	59154.651	5293.212	.000
TECH	50.692	1	50.692	4.536	.037
DEPTH	457.969	3	152.656	13.660	.000
TECH * DEPTH	106.497	2	53.248	4.765	.012
Error	704.061	63	11.176		
Total	61498.658	70			
Corrected Total	1272.435	69			

a. R Squared = .447 (Adjusted R Squared = .394)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	568.374	6	94.729	8.476	.000
Within Groups	704.061	63	11.176		
Total	1272.435	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านบนของคีมเค้น 00 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HT

F	df1	df2	Sig.
3.549	6	63	.004

Robust Tests of Equality of Means

HT

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	23.192	6	34.330	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1145.268 ^a	6	190.878	23.192	.000
Intercept	59843.810	1	59843.810	7271.055	.000
TECH	2.709	1	2.709	.329	.568
DEPTH	990.258	3	330.086	40.106	.000
TECH * DEPTH	38.753	2	19.376	2.354	.103
Error	518.516	63	8.230		
Total	62401.467	70			
Corrected Total	1663.785	69			

a. R Squared = .688 (Adjusted R Squared = .659)

ANOVA

HT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1145.268	6	190.878	23.192	.000
Within Groups	518.516	63	8.230		
Total	1663.785	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของคีย์แทคเอ็น00 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 15 นาที

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
4.794	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	311.031	6	42.787	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5048.156 ^a	6	841.359	311.031	.000
Intercept	18894.905	1	18894.905	6985.013	.000
TECH	4053.282	1	4053.282	1498.406	.000
DEPTH	2366.727	3	788.909	291.642	.000
TECH * DEPTH	112.428	2	56.214	20.781	.000
Error	170.419	63	2.705		
Total	21373.140	70			
Corrected Total	5218.575	69			

a. R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .964)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5048.156	6	841.359	311.031	.000
Within Groups	170.419	63	2.705		
Total	5218.575	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของคิแทคเอ็น100 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 วัน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
7.192	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	66.242	6	29.491	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8281.163 ^a	6	1380.194	66.242	.000
Intercept	36459.556	1	36459.556	1749.862	.000
TECH	4010.655	1	4010.655	192.490	.000
DEPTH	5784.231	3	1928.077	92.537	.000
TECH * DEPTH	262.691	2	131.345	6.304	.003
Error	1312.648	63	20.836		
Total	42196.875	70			
Corrected Total	9593.811	69			

a. R Squared = .863 (Adjusted R Squared = .850)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8281.163	6	1380.194	66.242	.000
Within Groups	1312.648	63	20.836		
Total	9593.811	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของค้แตะเอ็น 100 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 สัปดาห์

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
2.506	6	63	.031

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	72.325	6	37.769	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4872.803 ^a	6	812.134	72.325	.000
Intercept	37538.676	1	37538.676	3343.047	.000
TECH	2744.561	1	2744.561	244.420	.000
DEPTH	2426.482	3	808.827	72.031	.000
TECH * DEPTH	718.150	2	359.075	31.978	.000
Error	707.420	63	11.229		
Total	40497.645	70			
Corrected Total	5580.223	69			

a. R Squared = .873 (Adjusted R Squared = .861)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4872.803	6	812.134	72.325	.000
Within Groups	707.419	63	11.229		
Total	5580.223	69			

ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งผิวด้านล่างของคีแทคเอ็น00 ที่เวลาวัด
ภายหลังจากสร้างชิ้นงาน 1 เดือน

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: HB

F	df1	df2	Sig.
8.616	6	63	.000

Robust Tests of Equality of Means

HB

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	104.144	6	28.948	.000

a. Asymptotically F distributed.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5467.776 ^a	6	911.296	104.144	.000
Intercept	36536.594	1	36536.594	4175.463	.000
TECH	2041.083	1	2041.083	233.258	.000
DEPTH	4577.197	3	1525.732	174.363	.000
TECH * DEPTH	247.192	2	123.596	14.125	.000
Error	551.269	63	8.750		
Total	39024.760	70			
Corrected Total	6019.046	69			

a. R Squared = .908 (Adjusted R Squared = .900)

ANOVA

HB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5467.776	6	911.296	104.144	.000
Within Groups	551.270	63	8.750		
Total	6019.046	69			

ภาคผนวก ง.การวิเคราะห์การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของค่าความแข็งแรงผิว

Post Hoc Tests

Multiple comparison

(I) group (J) group		Bonfer roni		Tamhane					
		top				bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
		1 FB2	2 FB3	1.000	1.000	1.000	.325	1.000	.000
	3 FB4	1.000	1.000	.077	.053	1.000	.000	.231	.004
	4 FB5	1.000	.131	.857	.061	.000	.000	.024	.001
	5 FI3	1.000	1.000	.276	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	6 FI4	1.000	1.000	.092	1.000	1.000	.001	.956	.226
	7 FI5	1.000	.998	.679	.958	1.000	.001	1.000	.175
	8 VB2	.000	1.000	.000	.006	.000	.005	.002	.001
	9 VB3	.000	.000	.007	.101	.000	.000	.010	.001
	10 VB4	.000	.000	.000	.004	.000	.000	.001	.000
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	.040	.000	.002	.000	.036	.001	.000
	13 VI4	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.002	.000
	14 VI5	.000	1.000	.007	.162	.000	.010	.685	.060
	15 KB2	1.000	1.000	1.000	1.000	.000	1.000	.987	1.000
	16 KB3	.002	1.000	.073	.997	.000	.060	.009	.000
	17 KB4	.017	.020	.000	.007	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	1.000	.978	.001	.058	.000	.000	.000	.000
	19 KI3	1.000	1.000	1.000	1.000	.001	1.000	1.000	.452
	20 KI4	.033	.050	.015	.002	.000	.000	.962	.002
	21 KI5	.006	.006	.000	.004	.000	.000	.028	.001
2 FB3	1 FB2	1.000	1.000	1.000	.325	1.000	.000	1.000	.194
	3 FB4	1.000	1.000	.049	1.000	1.000	1.000	.005	.126
	4 FB5	1.000	.575	.395	1.000	.012	.000	.000	.000
	5 FI3	1.000	1.000	.141	.291	1.000	.019	.340	.017

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
6	FI4	1.000	1.000	.038	.477	1.000	1.000	.072	1.000
7	FI5	1.000	1.000	.208	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	VB2	.000	1.000	.000	.621	.000	1.000	.000	.000
9	VB3	.000	.000	.001	1.000	.000	.000	.001	.002
10	VB4	.000	.000	.000	.616	.000	.000	.000	.000
11	VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
12	VI3	.000	.199	.000	.027	.000	1.000	.000	.004
13	VI4	.000	.003	.000	.020	.000	.063	.000	.003
14	VI5	.000	1.000	.025	1.000	.000	.998	.018	1.000
15	KB2	1.000	1.000	.987	.158	.018	1.000	.580	.391
16	KB3	.002	1.000	.021	1.000	.000	1.000	.000	.003
17	KB4	.019	.062	.001	.063	.000	.000	.000	.000
18	KB5	1.000	1.000	.008	1.000	.000	.000	.000	.000
19	KI3	1.000	1.000	.992	.882	.056	.467	.784	1.000
20	KI4	.038	.241	.007	.140	.007	1.000	.164	.002
21	KI5	.007	.014	.002	.092	.005	.010	.000	.000
3	FB4	1.000	1.000	.077	.053	1.000	.000	.231	.004
	2 FB3	1.000	1.000	.049	1.000	1.000	1.000	.005	.126
	4 FB5	1.000	.737	1.000	1.000	.001	.000	1.000	.996
	5 FI3	1.000	1.000	1.000	.062	1.000	.017	.920	.000
	6 FI4	1.000	1.000	1.000	.032	1.000	1.000	1.000	.087
	7 FI5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.998	.873
	8 VB2	.000	1.000	.014	1.000	.000	1.000	.322	.999
	9 VB3	.000	.000	.925	1.000	.000	.000	.999	1.000
	10 VB4	.000	.000	.104	1.000	.000	.000	.003	.000
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	.271	.084	.813	.000	1.000	.293	.944
	13 VI4	.000	.005	.009	.246	.000	.047	.341	.451

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
5 FI3	1 FB2	1.000	1.000	.276	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2 FB3	1.000	1.000	.141	.291	1.000	.019	.340	.017
	3 FB4	1.000	1.000	1.000	.062	1.000	.017	.920	.000
	4 FB5	1.000	.089	1.000	.078	.059	.000	.004	.000
	6 FI4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.094	1.000	.020
	7 FI5	1.000	.938	1.000	.832	1.000	.077	1.000	.014
	8 VB2	.000	.973	.001	.010	.000	.020	.001	.000
	9 VB3	.000	.000	.501	.116	.000	.000	.093	.000
	10 VB4	.000	.000	.008	.006	.000	.000	.000	.000
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	.030	.019	.004	.000	.171	.001	.000
	13 VI4	.000	.001	.002	.000	.000	.000	.001	.000
	14 VI5	.000	.999	1.000	.166	.000	.445	1.000	.005
	15 KB2	1.000	1.000	1.000	1.000	.092	1.000	1.000	1.000
	16 KB3	.000	1.000	1.000	.952	.000	.117	.001	.000
	17 KB4	.001	.025	.001	.012	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	1.000	.849	.647	.073	.000	.000	.000	.000
	19 KI3	.378	1.000	1.000	1.000	.264	1.000	1.000	.055
	20 KI4	.003	.043	1.000	.005	.038	.001	1.000	.000
	21 KI5	.000	.009	.013	.008	.025	.000	.009	.000
	6 FI4	1 FB2	1.000	1.000	.092	1.000	1.000	.001	.956
2 FB3		1.000	1.000	.038	.477	1.000	1.000	.072	1.000
3 FB4		1.000	1.000	1.000	.032	1.000	1.000	1.000	.087
4 FB5		1.000	.360	1.000	.004	.010	.000	.009	.000
5 FI3		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.094	1.000	.020
7 FI5		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8 VB2		.000	1.000	.061	.001	.000	.999	.002	.000
9 VB3		.000	.000	.991	.019	.000	.000	.232	.001

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
10	VB4	.000	.000	.375	.004	.000	.000	.000	.000
11	VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
12	VI3	.000	.105	.181	.000	.000	1.000	.003	.004
13	VI4	.000	.003	.021	.000	.000	.003	.002	.002
14	VI5	.000	1.000	1.000	.112	.000	1.000	1.000	1.000
15	KB2	1.000	1.000	1.000	.994	.019	1.000	1.000	.434
16	KB3	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.999	.004	.002
17	KB4	.001	.002	.166	.000	.000	.000	.000	.000
18	KB5	1.000	1.000	1.000	.007	.000	.000	.000	.000
19	KI3	.358	1.000	1.000	1.000	.045	.851	1.000	1.000
20	KI4	.003	.074	1.000	.000	.007	.485	1.000	.002
21	KI5	.000	.000	.798	.000	.007	.000	.027	.000
7	FI5	1.000	.998	.679	.958	1.000	.001	1.000	.175
	1 FB2	1.000	1.000	.208	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2 FB3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.998	.873
	3 FB4	1.000	1.000	1.000	.999	.001	.000	.290	.036
	4 FB5	1.000	.938	1.000	.832	1.000	.077	1.000	.014
	5 FI3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	6 FI4	.000	1.000	.003	.380	.000	1.000	.018	.031
	8 VB2	.000	.001	.504	1.000	.000	.000	.148	.064
	9 VB3	.000	.010	.023	.310	.000	.000	.003	.000
	10 VB4	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	11 VB5	.000	1.000	.021	.042	.000	1.000	.015	.021
	12 VI3	.000	.085	.002	.009	.000	.003	.018	.006
	13 VI4	.000	1.000	1.000	1.000	.000	1.000	1.000	1.000
	14 VI5	1.000	1.000	1.000	.550	.001	1.000	1.000	.334
	15 KB2	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.999	.111	.006
	16 KB3	.004	.997	.009	.138	.000	.000	.000	.000

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
18	KB5	1.000	1.000	.911	1.000	.000	.000	.000	.000
19	KI3	.825	.770	1.000	1.000	.003	.824	1.000	1.000
20	KI4	.009	1.000	1.000	.104	.000	.492	1.000	.262
21	KI5	.001	.722	.078	.126	.000	.000	.353	.013
8	VB2	.000	1.000	.000	.006	.000	.005	.002	.001
	1 FB2	.000	1.000	.000	.621	.000	1.000	.000	.000
	2 FB3	.000	1.000	.014	1.000	.000	1.000	.322	.999
	3 FB4	.000	1.000	.000	1.000	.000	.316	.998	1.000
	4 FB5	.000	.973	.001	.010	.000	.020	.001	.000
	5 FI3	.000	1.000	.061	.001	.000	.999	.002	.000
	6 FI 4	.000	1.000	.003	.380	.000	1.000	.018	.031
	7 FI 5	1.000	.003	1.000	.992	1.000	.003	1.000	1.000
	9 VB3	1.000	.046	1.000	1.000	.940	.023	1.000	.000
	10 VB4	1.000	.005	.179	.002	1.000	.000	.006	.000
	11 VB5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	12 VI3	1.000	.189	1.000	.994	.998	1.000	1.000	1.000
	13 VI4	1.000	1.000	.013	.943	1.000	.869	.008	.002
	14 VI5	.000	1.000	.043	.006	.000	1.000	.540	.005
	15 KB2	.000	1.000	.428	.526	.613	1.000	1.000	1.000
	16 KB3	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	17 KB4	.000	1.000	.130	1.000	.000	.000	.006	.000
	18 KB5	.000	.893	.012	.004	.000	.124	.009	.098
	19 KI3	.000	1.000	.770	1.000	.000	1.000	.018	1.000
	20 KI4	.000	.966	.988	1.000	.000	1.000	.994	1.000
	21 KI5	.000	.000	.007	.101	.000	.000	.010	.001
9	VB3	.000	.000	.001	1.000	.000	.000	.001	.002
	1 FB2	.000	.000	.925	1.000	.000	.000	.999	1.000
	2 FB3	.000	.001	.180	1.000	.000	.036	1.000	1.000
	3 FB4	.000	.001	.180	1.000	.000	.036	1.000	1.000
	4 FB5	.000	.001	.180	1.000	.000	.036	1.000	1.000

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
5	FI3	.000	.000	.501	.116	.000	.000	.093	.000
6	FI 4	.000	.000	.991	.019	.000	.000	.232	.001
7	FI 5	.000	.001	.504	1.000	.000	.000	.148	.064
9	VB3	1.000	.003	1.000	.992	1.000	.003	1.000	1.000
10	VB4	1.000	.055	1.000	.981	1.000	.992	1.000	.001
11	VB5	1.000	1.000	.608	.000	1.000	.815	.077	.000
12	VI3	1.000	.005	1.000	.098	1.000	.000	1.000	1.000
13	VI4	1.000	.999	1.000	.074	1.000	.001	1.000	1.000
14	VI5	1.000	.000	.986	1.000	.916	.000	.509	.023
15	KB2	.000	.000	.427	.066	.000	.017	.981	.005
16	KB3	.000	.008	1.000	1.000	1.000	.513	1.000	1.000
17	KB4	.000	.000	1.000	.137	.000	.000	.000	.000
18	KB5	.000	.000	1.000	1.000	.000	.000	.078	.000
19	KI3	.000	.000	.221	.150	.000	.000	.192	.144
20	KI4	.000	.000	1.000	.503	.000	.000	.449	1.000
21	KI5	.000	.000	1.000	.320	.000	.000	1.000	1.000
10	VB4 1	.000	.000	.000	.004	.000	.000	.001	.000
	2	.000	.000	.000	.616	.000	.000	.000	.000
	3	.000	.000	.104	1.000	.000	.000	.003	.000
	4	.000	.046	.001	1.000	.000	.935	.002	.000
	5	.000	.000	.008	.006	.000	.000	.000	.000
	6	.000	.000	.375	.004	.000	.000	.000	.000
	7	.000	.010	.023	.310	.000	.000	.003	.000
	8	1.000	.046	1.000	1.000	.940	.023	1.000	.000
	9	1.000	.055	1.000	.981	1.000	.992	1.000	.001
	11	1.000	.993	.007	.076	.899	.003	.000	.004
	12	1.000	.266	1.000	1.000	1.000	.003	1.000	.269
	13	1.000	1.000	.999	1.000	1.000	.021	1.000	.992

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
12	1 FB2	.000	.040	.000	.002	.000	.036	.001	.000
rmgi=2	2 FB3	.000	.199	.000	.027	.000	1.000	.000	.004
tech=2	3 FB4	.000	.271	.084	.813	.000	1.000	.293	.944
depth=3	4 FB5	.000	1.000	.005	.223	.000	.028	.993	1.000
	5 FI3	.000	.030	.019	.004	.000	.171	.001	.000
	6 FI 4	.000	.105	.181	.000	.000	1.000	.003	.004
	7 FI 5	.000	1.000	.021	.042	.000	1.000	.015	.021
	8 VB2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	9 VB3	1.000	.005	1.000	.098	1.000	.000	1.000	1.000
	10 VB4	1.000	.266	1.000	1.000	1.000	.003	1.000	.269
	11 VB5	.029	.015	.976	.005	1.000	.000	.018	.000
	13 VI4	1.000	.991	1.000	1.000	1.000	.765	1.000	1.000
	14 VI5	1.000	.370	.138	.077	1.000	1.000	.011	.026
	15 KB2	.000	.117	.045	.003	.000	1.000	.465	.001
	16 KB3	.000	.953	.607	.098	.997	1.000	1.000	1.000
	17 KB4	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	.000	.869	.574	.331	.000	.000	.021	.000
	19 KI3	.000	.008	.015	.000	.000	.539	.008	.035
	20 KI4	.000	1.000	.899	1.000	.000	1.000	.018	1.000
	21 KI5	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.660	.985	1.000
13 VI4	1 FB2	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.002	.000
	2 FB3	.000	.003	.000	.020	.000	.063	.000	.003
	3 FB4	.000	.005	.009	.246	.000	.047	.341	.451
	4 FB5	.000	.696	.001	.141	.000	.979	.998	1.000
	5 FI3	.000	.001	.002	.000	.000	.000	.001	.000
	6 FI 4	.000	.003	.021	.000	.000	.003	.002	.002
	7 FI 5	.000	.085	.002	.009	.000	.003	.018	.006
	8 VB2	1.000	.189	1.000	.994	.998	1.000	1.000	1.000

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
9 VB3		1.000	.999	1.000	.074	1.000	.001	1.000	1.000
10 VB4		1.000	1.000	.999	1.000	1.000	.021	1.000	.992
11 VB5		.016	1.000	1.000	1.000	.991	.000	.007	.006
12 VI3		1.000	.991	1.000	1.000	1.000	.765	1.000	1.000
14 VI5		1.000	.006	.017	.045	.564	.001	.009	.011
15 KB2		.000	.002	.008	.000	.000	.741	.542	.000
16 KB3		.000	.078	.101	.016	1.000	1.000	1.000	1.000
17 KB4		.000	.858	.998	.995	.000	.000	.000	.000
18 KB5		.000	.020	.090	.150	.000	.000	.008	.008
19 KI3		.000	.000	.002	.000	.000	.007	.009	.010
20 KI4		.000	.788	.225	1.000	.000	.996	.020	.812
21 KI5		.000	1.000	.646	.999	.000	1.000	.995	1.000
14 VI5	1 FB2	.000	1.000	.007	.162	.000	.010	.685	.060
	2 FB3	.000	1.000	.025	1.000	.000	.998	.018	1.000
	3 FB4	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.994	1.000	.900
	4 FB5	.000	.861	.846	1.000	.000	.000	.048	.001
	5 FI3	.000	.999	1.000	.166	.000	.445	1.000	.005
	6 FI 4	.000	1.000	1.000	.112	.000	1.000	1.000	1.000
	7 FI 5	.000	1.000	1.000	1.000	.000	1.000	1.000	1.000
	8 VB2	1.000	1.000	.013	.943	1.000	.869	.008	.002
	9 VB3	1.000	.000	.986	1.000	.916	.000	.509	.023
	10 VB4	1.000	.000	.102	.911	.332	.000	.000	.000
	11 VB5	.156	.000	.000	.000	1.000	.000	.000	.000
	12 VI3	1.000	.370	.138	.077	1.000	1.000	.011	.026
	13 VI4	1.000	.006	.017	.045	.564	.001	.009	.011
	15 KB2	.000	1.000	1.000	.091	.000	1.000	1.000	.164
	16 KB3	.000	1.000	1.000	1.000	.140	.944	.018	.011
	17 KB4	.000	.027	.005	.163	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
	19 KI3	.000	.954	1.000	.420	.000	.993	1.000	1.000
	20 KI4	.000	.370	1.000	.358	.000	.076	1.000	.073
	21 KI5	.000	.003	.104	.260	.000	.000	.145	.000
15 rmgi=3 tech=1 depth=2	1 FB2	1.000	1.000	1.000	1.000	.000	1.000	.987	1.000
	2 FB3	1.000	1.000	.987	.158	.018	1.000	.580	.391
	3 FB4	1.000	1.000	1.000	.034	.001	1.000	1.000	.019
	4 FB5	1.000	.395	1.000	.046	1.000	.176	1.000	.007
	5 FI3	1.000	1.000	1.000	1.000	.092	1.000	1.000	1.000
	6 FI 4	1.000	1.000	1.000	.994	.019	1.000	1.000	.434
	7 FI 5	1.000	1.000	1.000	.550	.001	1.000	1.000	.334
	8 VB2	.000	1.000	.043	.006	.000	1.000	.540	.005
	9 VB3	.000	.000	.427	.066	.000	.017	.981	.005
	10 VB4	.000	.000	.158	.003	.000	.049	.076	.000
	11 VB5	.000	.000	.002	.000	.000	.006	.002	.000
	12 VI3	.000	.117	.045	.003	.000	1.000	.465	.001
	13 VI4	.000	.002	.008	.000	.000	.741	.542	.000
	14 VI5	.000	1.000	1.000	.091	.000	1.000	1.000	.164
	16 KB3	.111	1.000	1.000	.743	.000	.998	.989	.000
	17 KB4	.716	.012	.139	.008	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	1.000	1.000	.981	.042	.000	.001	.001	.000
	19 KI3	1.000	1.000	1.000	.993	1.000	1.000	1.000	.589
20 KI4	1.000	.109	.997	.003	1.000	1.000	1.000	.012	
21 KI5	.313	.002	.426	.005	1.000	.744	1.000	.004	
16 KI3	1 FB2	.002	1.000	.073	.997	.000	.060	.009	.000
	2 FB3	.002	1.000	.021	1.000	.000	1.000	.000	.003
	3 FB4	.001	1.000	1.000	1.000	.000	1.000	.984	.438
	4 FB5	.013	.999	.997	1.000	.000	1.000	1.000	1.000
	5 FI3	.000	1.000	1.000	.952	.000	.117	.001	.000
	6 FI 4	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.999	.004	.002

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
7 FI 5		.000	1.000	1.000	1.000	.000	.999	.111	.006
8 VB2		.000	1.000	.428	.526	.613	1.000	1.000	1.000
9 VB3		.000	.008	1.000	1.000	1.000	.513	1.000	1.000
10 VB4		.000	.050	.971	.394	1.000	.962	.083	.994
11 VB5		.000	.009	.002	.000	.492	.121	.000	.006
12 VI3		.000	.953	.607	.098	.997	1.000	1.000	1.000
13 VI4		.000	.078	.101	.016	1.000	1.000	1.000	1.000
14 VI5		.000	1.000	1.000	1.000	.140	.944	.018	.011
15 KB2		.111	1.000	1.000	.743	.000	.998	.989	.000
17 KB4		1.000	.928	.837	.273	.000	.001	.000	.000
18 KB5		.028	1.000	1.000	1.000	.000	.004	.000	.009
19 VI3		1.000	1.000	.999	1.000	.000	.126	.066	.009
20 VI4		1.000	.990	1.000	.187	.000	1.000	.141	.799
21 VI5		1.000	.646	1.000	.249	.000	1.000	1.000	1.000
17 KB4	1 FB2	.017	.020	.000	.007	.000	.000	.000	.000
	2 FB3	.019	.062	.001	.063	.000	.000	.000	.000
	3 FB4	.011	.018	.026	.996	.000	.000	.000	.000
	4 FB5	.104	1.000	.000	.281	.000	.000	.000	.000
	5 FI3	.001	.025	.001	.012	.000	.000	.000	.000
	6 FI 4	.001	.002	.166	.000	.000	.000	.000	.000
	7 FI 5	.004	.997	.009	.138	.000	.000	.000	.000
	8 VB2	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	9 VB3	.000	.000	1.000	.137	.000	.000	.000	.000
	10 VB4	.000	.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	13 VI4	.000	.858	.998	.995	.000	.000	.000	.000
	14 VI5	.000	.027	.005	.163	.000	.000	.000	.000
	15 KB2	.716	.012	.139	.008	.000	.000	.000	.000

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
16 KB3		1.000	.928	.837	.273	.000	.001	.000	.000
18 KB5		.209	.143	.048	.579	.005	.000	.000	.000
19 VI3		1.000	.004	.046	.001	.000	.000	.000	.000
20 KI4		1.000	1.000	.992	1.000	.000	.000	.000	.000
21 KI5		1.000	1.000	.999	1.000	.000	.000	.000	.000
18 KB5	1 FB2	1.000	.978	.001	.058	.000	.000	.000	.000
	2 FB3	1.000	1.000	.008	1.000	.000	.000	.000	.000
	3 FB4	1.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	4 FB5	1.000	1.000	.037	1.000	.000	.000	.000	.000
	5 FI3	1.000	.849	.647	.073	.000	.000	.000	.000
	6 FI 4	1.000	1.000	1.000	.007	.000	.000	.000	.000
	7 FI 5	1.000	1.000	.911	1.000	.000	.000	.000	.000
	8 VB2	.000	1.000	.130	1.000	.000	.000	.006	.000
	9 VB3	.000	.000	1.000	1.000	.000	.000	.078	.000
	10 VB4	.000	.000	.741	1.000	.000	.000	.006	.010
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000	1.000
	12 VI3	.000	.869	.574	.331	.000	.000	.021	.000
	13 VI4	.000	.020	.090	.150	.000	.000	.008	.008
	14 VI5	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	15 KB2	1.000	1.000	.981	.042	.000	.001	.001	.000
	16 KB3	.028	1.000	1.000	1.000	.000	.004	.000	.009
	17 KB4	.209	.143	.048	.579	.005	.000	.000	.000
	19 KI3	1.000	.482	.787	.063	.000	.000	.000	.000
	20 KI4	.378	.917	1.000	.884	.000	.000	.000	.000
	21 KI5	.085	.012	.856	.816	.000	.000	.000	.000
19 KI3	1 FB2	1.000	1.000	1.000	1.000	.001	1.000	1.000	.452
	2 FB3	1.000	1.000	.992	.882	.056	.467	.784	1.000
	3 FB4	1.000	.989	1.000	.116	.003	.469	1.000	.913
	4 FB5	1.000	.026	1.000	.053	1.000	.001	.215	.111

(I) group (J) group		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
		Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
	5 FI3	.378	1.000	1.000	1.000	.264	1.000	1.000	.055
	6 FI4	.358	1.000	1.000	1.000	.045	.851	1.000	1.000
	7 FI5	.825	.770	1.000	1.000	.003	.824	1.000	1.000
	8 VB2	.000	.893	.012	.004	.000	.124	.009	.098
	9 VB3	.000	.000	.221	.150	.000	.000	.192	.144
	10 VB4	.000	.000	.049	.008	.000	.000	.001	.000
	11 VB5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	.008	.015	.000	.000	.539	.008	.035
	13 VI4	.000	.000	.002	.000	.000	.007	.009	.010
	14 VI5	.000	.954	1.000	.420	.000	.993	1.000	1.000
	15 KB2	1.000	1.000	1.000	.993	1.000	1.000	1.000	.589
	16 KB3	1.000	1.000	.999	1.000	.000	.126	.066	.009
	17 KB4	1.000	.004	.046	.001	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	1.000	.482	.787	.063	.000	.000	.000	.000
	20 KI4	1.000	.009	.933	.001	1.000	.080	1.000	.454
	21 KI5	1.000	.001	.175	.001	1.000	.011	.291	.051
20	1 FB2	.033	.050	.015	.002	.000	.000	.962	.002
rmgi=3	2 FB3	.038	.241	.007	.140	.007	1.000	.164	.002
tech=2	3 FB4	.023	.259	1.000	.996	.000	1.000	1.000	1.000
depth=4	4 FB5	.194	1.000	.736	.808	1.000	.011	.452	1.000
	5 FI3	.003	.043	1.000	.005	.038	.001	1.000	.000
	6 FI 4	.003	.074	1.000	.000	.007	.485	1.000	.002
	7 FI 5	.009	1.000	1.000	.104	.000	.492	1.000	.262
	8 VB2	.000	1.000	.770	1.000	.000	1.000	.018	1.000
	9 VB3	.000	.000	1.000	.503	.000	.000	.449	1.000
	10 VB4	.000	.022	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
	11 VB5	.000	.001	.002	.011	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	1.000	.899	1.000	.000	1.000	.018	1.000
	13 VI4	.000	.788	.225	1.000	.000	.996	.020	.812

		Bonfer roni	Tamhane						
		top				Bottom			
(I) group	(J) group	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)	Sig. (T=1)	Sig. (T=2)	Sig. (T=3)	Sig. (T=4)
	14 VI5	.000	.370	1.000	.358	.000	.076	1.000	.073
	15 KB2	1.000	.109	.997	.003	1.000	1.000	1.000	.012
	16 KB3	1.000	.990	1.000	.187	.000	1.000	.141	.799
	17 KB4	1.000	1.000	.992	1.000	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	.378	.917	1.000	.884	.000	.000	.000	.000
	19 KI3	1.000	.009	.933	.001	1.000	.080	1.000	.454
	21 KI5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.886	.607	.990
21 KI5	1 FB2	.006	.006	.000	.004	.000	.000	.028	.001
	2 FB3	.007	.014	.002	.092	.005	.010	.000	.000
	3 FB4	.004	.002	.269	.999	.000	.005	1.000	.805
	4 FB5	.041	1.000	.000	.633	1.000	.482	1.000	1.000
	5 FI3	.000	.009	.013	.008	.025	.000	.009	.000
	6 FI 4	.000	.000	.798	.000	.007	.000	.027	.000
	7 FI 5	.001	.722	.078	.126	.000	.000	.353	.013
	8 VB2	.000	.966	.988	1.000	.000	1.000	.994	1.000
	9 VB3	.000	.000	1.000	.320	.000	.000	1.000	1.000
	10 VB4	.000	.006	1.000	1.000	.000	.000	.004	.001
	11 VB5	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	12 VI3	.000	1.000	1.000	1.000	.000	.660	.985	1.000
	13 VI4	.000	1.000	.646	.999	.000	1.000	.995	1.000
	14 VI5	.000	.003	.104	.260	.000	.000	.145	.000
	15 KB2	.313	.002	.426	.005	1.000	.744	1.000	.004
	16 KB3	1.000	.646	1.000	.249	.000	1.000	1.000	1.000
	17 KB4	1.000	1.000	.999	1.000	.000	.000	.000	.000
	18 KB5	.085	.012	.856	.816	.000	.000	.000	.000
	19 KI3	1.000	.001	.175	.001	1.000	.011	.291	.051
	20 KI4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.886	.607	.990

The mean difference is significant at the 0.05 level.

ภาคผนวก จ. ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงกับเวลาที่เปลี่ยนไป

ตารางแสดงผลวิเคราะห์ความแข็งแรงด้านบนกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีการวัดซ้ำ

กลุ่มที่1 คือกลุ่ม FB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Failed (P = 0.010)

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

Friedman Repeated Measures Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in Notebook

Group	N	Missing	Median	25%	75%
G1T1	10	0	26.500	26.250	28.150
G1T2	10	0	32.625	30.200	35.350
G1T3	10	0	35.600	34.050	38.150
G1T4	10	0	35.675	34.800	38.150

Chi-square= 16.212 with 3 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
G1T4 vs G1T1	20.500	5.021	Yes
G1T4 vs G1T2	3.500	0.857	No
G1T4 vs G1T3	2.000	0.490	Do Not Test
G1T3 vs G1T1	18.500	4.532	Yes
G1T3 vs G1T2	1.500	0.367	Do Not Test
G1T2 vs G1T1	17.000	4.164	Yes

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

กลุ่มที่ 2 คือกลุ่ม FB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.061)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.286)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G2T1	10	0	26.375	2.387	0.755
G2T2	10	0	31.455	3.122	0.987
G2T3	10	0	38.680	4.587	1.450
G2T4	10	0	29.620	2.150	0.680

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	57.577	6.397		
Between Treatments	3	813.502	271.167	23.436	<0.001
Residual	27	312.409	11.571		
Total	39	1183.488			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G2T3 vs. G2T1	12.305	4	11.439	<0.001	Yes
G2T3 vs. G2T4	9.060	4	8.423	<0.001	Yes
G2T3 vs. G2T2	7.225	4	6.717	<0.001	Yes
G2T2 vs. G2T1	5.080	4	4.723	0.012	Yes
G2T2 vs. G2T4	1.835	4	1.706	0.628	No
G2T4 vs. G2T1	3.245	4	3.017	0.168	No

กลุ่มที่ 3 คือกลุ่ม FB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.825$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G3T1	10	0	26.495	1.436	0.454
G3T2	10	0	30.665	2.278	0.720
G3T3	10	0	30.540	2.735	0.865
G3T4	10	0	28.060	2.397	0.758

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	43.675	4.853		
Between Treatments	3	122.880	40.960	7.864	<0.001
Residual	27	140.636	5.209		
Total	39	307.191			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.964

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G3T2 vs. G3T1	4.170	4	5.778	0.002	Yes
G3T2 vs. G3T4	2.605	4	3.609	0.074	No
G3T2 vs. G3T3	0.125	4	0.173	0.999	Do Not Test
G3T3 vs. G3T1	4.045	4	5.605	0.003	Yes
G3T3 vs. G3T4	2.480	4	3.436	0.095	Do Not Test
G3T4 vs. G3T1	1.565	4	2.168	0.433	No

กลุ่มที่ 4 คือกลุ่ม FB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.133$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G4T1	10	0	25.980	2.671	0.845
G4T2	10	0	26.935	3.018	0.954
G4T3	10	0	32.640	2.116	0.669
G4T4	10	0	28.205	1.511	0.478

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	85.832	9.537		
Between Treatments	3	260.118	86.706	19.316	<0.001
Residual	27	121.200	4.489		
Total	39	467.151			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G4T3 vs. G4T1	6.660	4	9.940	<0.001	Yes
G4T3 vs. G4T2	5.705	4	8.515	<0.001	Yes
G4T3 vs. G4T4	4.435	4	6.619	<0.001	Yes
G4T4 vs. G4T1	2.225	4	3.321	0.112	No
G4T4 vs. G4T2	1.270	4	1.896	0.546	Do Not Test
G4T2 vs. G4T1	0.955	4	1.425	0.746	Do Not Test

กลุ่มที่ 5 คือ กลุ่มF13

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.026)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.558)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G5T1	10	0	26.925	3.227	1.021
G5T2	10	0	33.965	4.098	1.296
G5T3	10	0	31.575	2.384	0.754
G5T4	10	0	36.260	4.791	1.515

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	172.649	19.183		
Between Treatments	3	478.137	159.379	13.043	<0.001
Residual	27	329.928	12.220		
Total	39	980.713			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.999

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G5T4 vs. G5T1	9.335	4	8.445	<0.001	Yes
G5T4 vs. G5T3	4.685	4	4.238	0.028	Yes
G5T4 vs. G5T2	2.295	4	2.076	0.470	No
G5T2 vs. G5T1	7.040	4	6.369	<0.001	Yes
G5T2 vs. G5T3	2.390	4	2.162	0.435	No
G5T3 vs. G5T1	4.650	4	4.207	0.029	Yes

กลุ่มที่ 6 คือ FI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.057)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.663)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G6T1	10	0	26.940	1.630	0.515
G6T2	10	0	31.150	2.018	0.638
G6T3	10	0	30.165	3.173	1.003
G6T4	10	0	32.760	1.951	0.617

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	103.094	11.455		
Between Treatments	3	180.734	60.245	19.757	<0.001
Residual	27	82.329	3.049		
Total	39	366.157			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G6T4 vs. G6T1	5.820	4	10.540	<0.001	Yes
G6T4 vs. G6T3	2.595	4	4.699	0.013	Yes
G6T4 vs. G6T2	1.610	4	2.916	0.191	No
G6T2 vs. G6T1	4.210	4	7.624	<0.001	Yes
G6T2 vs. G6T3	0.985	4	1.784	0.595	No
G6T3 vs. G6T1	3.225	4	5.840	0.002	Yes

กลุ่มที่ 7 คือ F15

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Failed (P = 0.009)

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%
G7T1	10	0	27.025	25.250	29.300
G7T2	10	0	30.550	25.200	31.700
G7T3	10	0	31.775	30.900	33.500
G7T4	10	0	30.850	29.300	33.350

Chi-square= 15.600 with 3 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
G7T3 vs G7T1	22.000	5.389	Yes
G7T3 vs G7T2	8.000	1.960	No
G7T3 vs G7T4	6.000	1.470	Do Not Test
G7T4 vs G7T1	16.000	3.919	Yes
G7T4 vs G7T2	2.000	0.490	Do Not Test
G7T2 vs G7T1	14.000	3.429	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

กลุ่มที่ 8 คือกลุ่ม VB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.315$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G8T1	10	0	14.795	1.253	0.396
G8T2	10	0	29.100	4.178	1.321
G8T3	10	0	24.180	2.783	0.880
G8T4	10	0	26.280	2.448	0.774

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	106.966	11.885		
Between Treatments	3	1152.963	384.321	55.222	<0.001
Residual	27	187.909	6.960		
Total	39	1447.837			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G8T2 vs. G8T1	14.305	4	17.147	<0.001	Yes
G8T2 vs. G8T3	4.920	4	5.898	0.002	Yes
G8T2 vs. G8T4	2.820	4	3.380	0.103	No
G8T4 vs. G8T1	11.485	4	13.767	<0.001	Yes
G8T4 vs. G8T3	2.100	4	2.517	0.305	No
G8T3 vs. G8T1	9.385	4	11.250	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 9 คือกลุ่ม VB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.121)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.126)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G9T1	10	0	13.650	1.823	0.577
G9T2	10	0	18.895	1.338	0.423
G9T3	10	0	25.595	4.728	1.495
G9T4	10	0	28.655	1.692	0.535

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	129.459	14.384		
Between Treatments	3	1362.136	454.045	85.381	<0.001
Residual	27	143.582	5.318		
Total	39	1635.177			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G9T4 vs. G9T1	15.005	4	20.576	<0.001	Yes
G9T4 vs. G9T2	9.760	4	13.384	<0.001	Yes
G9T4 vs. G9T3	3.060	4	4.196	0.030	Yes
G9T3 vs. G9T1	11.945	4	16.380	<0.001	Yes
G9T3 vs. G9T2	6.700	4	9.188	<0.001	Yes
G9T2 vs. G9T1	5.245	4	7.192	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 10 คือกลุ่ม VB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.992$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G10T1	10	0	14.675	2.250	0.712
G10T2	10	0	21.580	1.325	0.419
G10T3	10	0	25.535	2.571	0.813
G10T4	10	0	25.640	3.149	0.996

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	69.465	7.718		
Between Treatments	3	794.966	264.989	50.872	<0.001
Residual	27	140.641	5.209		
Total	39	1005.073			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G10T4 vs. G10T1	10.965	4	15.193	<0.001	Yes
G10T4 vs. G10T2	4.060	4	5.625	0.003	Yes
G10T4 vs. G10T3	0.105	4	0.145	1.000	No
G10T3 vs. G10T1	10.860	4	15.047	<0.001	Yes
G10T3 vs. G10T2	3.955	4	5.480	0.003	Yes
G10T2 vs. G10T1	6.905	4	9.567	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 11 คือกลุ่ม VB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.733$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G11T1	10	0	16.020	1.175	0.372
G11T2	10	0	19.640	2.043	0.646
G11T3	10	0	19.975	1.583	0.501
G11T4	10	0	20.370	1.602	0.507

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	36.013	4.001		
Between Treatments	3	121.175	40.392	18.285	<0.001
Residual	27	59.644	2.209		
Total	39	216.832			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G11T4 vs. G11T1	4.350	4	9.255	<0.001	Yes
G11T4 vs. G11T2	0.730	4	1.553	0.694	No
G11T4 vs. G11T3	0.395	4	0.840	0.933	Do Not Test
G11T3 vs. G11T1	3.955	4	8.415	<0.001	Yes
G11T3 vs. G11T2	0.335	4	0.713	0.958	Do Not Test
G11T2 vs. G11T1	3.620	4	7.702	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 12 คือ กลุ่ม VI3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.741$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G12T1	10	0	12.620	0.927	0.293
G12T2	10	0	25.995	3.145	0.994
G12T3	10	0	23.730	4.004	1.266
G12T4	10	0	25.085	2.031	0.642

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	166.029	18.448		
Between Treatments	3	1163.733	387.911	93.393	<0.001
Residual	27	112.146	4.154		
Total	39	1441.908			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G12T2 vs. G12T1	13.375	4	20.753	<0.001	Yes
G12T2 vs. G12T3	2.265	4	3.514	0.085	No
G12T2 vs. G12T4	0.910	4	1.412	0.752	Do Not Test
G12T4 vs. G12T1	12.465	4	19.341	<0.001	Yes
G12T4 vs. G12T3	1.355	4	2.102	0.459	Do Not Test
G12T3 vs. G12T1	11.110	4	17.239	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 13 คือ VI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.066)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.012)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G13T1	10	0	12.485	1.806	0.571
G13T2	10	0	22.055	3.832	1.212
G13T3	10	0	22.055	3.990	1.262
G13T4	10	0	23.015	3.365	1.064

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	276.360	30.707		
Between Treatments	3	739.735	246.578	51.067	<0.001
Residual	27	130.370	4.829		
Total	39	1146.465			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G13T4 vs. G13T1	10.530	4	15.154	<0.001	Yes
G13T4 vs. G13T3	0.960	4	1.382	0.764	No
G13T4 vs. G13T2	0.960	4	1.382	0.764	Do Not Test
G13T2 vs. G13T1	9.570	4	13.772	<0.001	Yes
G13T2 vs. G13T3	0.000	4	0.000	1.000	Do Not Test
G13T3 vs. G13T1	9.570	4	13.772	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 14 คือ VI5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.202$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G14T1	10	0	13.025	1.397	0.442
G14T2	10	0	30.430	2.246	0.710
G14T3	10	0	29.940	1.996	0.631
G14T4	10	0	29.040	2.028	0.641

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	49.510	5.501		
Between Treatments	3	2121.284	707.095	221.120	<0.001
Residual	27	86.340	3.198		
Total	39	2257.134			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G14T2 vs. G14T1	17.405	4	30.779	<0.001	Yes
G14T2 vs. G14T4	1.390	4	2.458	0.325	No
G14T2 vs. G14T3	0.490	4	0.867	0.927	Do Not Test
G14T3 vs. G14T1	16.915	4	29.912	<0.001	Yes
G14T3 vs. G14T4	0.900	4	1.592	0.677	Do Not Test
G14T4 vs. G14T1	16.015	4	28.321	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 15 คือ KB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.053)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.575)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G15T1	10	0	25.475	1.831	0.579
G15T2	10	0	31.365	2.549	0.806
G15T3	10	0	33.210	5.035	1.592
G15T4	10	0	37.110	4.936	1.561

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	320.595	35.622		
Between Treatments	3	703.786	234.595	29.384	<0.001
Residual	27	215.560	7.984		
Total	39	1239.941			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G15T4 vs. G15T1	11.635	4	13.022	<0.001	Yes
G15T4 vs. G15T2	5.745	4	6.430	<0.001	Yes
G15T4 vs. G15T3	3.900	4	4.365	0.023	Yes
G15T3 vs. G15T1	7.735	4	8.657	<0.001	Yes
G15T3 vs. G15T2	1.845	4	2.065	0.475	No
G15T2 vs. G15T1	5.890	4	6.592	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 16 คือ KB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.029$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G16T1	10	0	22.395	1.912	0.605
G16T2	10	0	31.640	5.586	1.766
G16T3	10	0	29.335	3.695	1.168
G16T4	10	0	31.055	3.665	1.159

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	248.982	27.665		
Between Treatments	3	543.107	181.036	15.848	<0.001
Residual	27	308.437	11.424		
Total	39	1100.526			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G16T2 vs. G16T1	9.245	4	8.650	<0.001	Yes
G16T2 vs. G16T3	2.305	4	2.157	0.437	No
G16T2 vs. G16T4	0.585	4	0.547	0.980	Do Not Test
G16T4 vs. G16T1	8.660	4	8.102	<0.001	Yes
G16T4 vs. G16T3	1.720	4	1.609	0.670	Do Not Test
G16T3 vs. G16T1	6.940	4	6.493	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 17 คือ KB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.216$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G17T1	10	0	22.885	1.531	0.484
G17T2	10	0	26.110	1.544	0.488
G17T3	10	0	25.380	1.455	0.460
G17T4	10	0	25.935	1.166	0.369

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	20.530	2.281		
Between Treatments	3	66.999	22.333	11.303	<0.001
Residual	27	53.346	1.976		
Total	39	140.875			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 0.997

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G17T2 vs. G17T1	3.225	4	7.255	<0.001	Yes
G17T2 vs. G17T3	0.730	4	1.642	0.656	No
G17T2 vs. G17T4	0.175	4	0.394	0.992	Do Not Test
G17T4 vs. G17T1	3.050	4	6.862	<0.001	Yes
G17T4 vs. G17T3	0.555	4	1.249	0.814	Do Not Test
G17T3 vs. G17T1	2.495	4	5.613	0.003	Yes

กลุ่มที่ 18 คือ KB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.803$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G18T1	10	0	25.805	1.134	0.359
G18T2	10	0	29.520	2.102	0.665
G18T3	10	0	28.585	1.659	0.525
G18T4	10	0	28.190	1.773	0.561

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	44.331	4.926		
Between Treatments	3	75.043	25.014	11.241	<0.001
Residual	27	60.081	2.225		
Total	39	179.455			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 0.997

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G18T2 vs. G18T1	3.715	4	7.875	<0.001	Yes
G18T2 vs. G18T4	1.330	4	2.819	0.215	No
G18T2 vs. G18T3	0.935	4	1.982	0.509	Do Not Test
G18T3 vs. G18T1	2.780	4	5.893	0.002	Yes
G18T3 vs. G18T4	0.395	4	0.837	0.934	Do Not Test
G18T4 vs. G18T1	2.385	4	5.056	0.007	Yes

กลุ่มที่ 19 คือ KI3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.187)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.413)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G19T1	10	0	24.160	2.816	0.891
G19T2	10	0	34.000	3.434	1.086
G19T3	10	0	33.585	4.561	1.442
G19T4	10	0	32.635	2.515	0.795

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	104.912	11.657		
Between Treatments	3	651.049	217.016	18.501	<0.001
Residual	27	316.703	11.730		
Total	39	1072.664			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G19T2 vs. G19T1	9.840	4	9.086	<0.001	Yes
G19T2 vs. G19T4	1.365	4	1.260	0.809	No
G19T2 vs. G19T3	0.415	4	0.383	0.993	Do Not Test
G19T3 vs. G19T1	9.425	4	8.702	<0.001	Yes
G19T3 vs. G19T4	0.950	4	0.877	0.925	Do Not Test
G19T4 vs. G19T1	8.475	4	7.825	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 20 คือ KI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.150)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.724)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G20T1	10	0	23.040	1.233	0.390
G20T2	10	0	26.550	2.589	0.819
G20T3	10	0	28.520	3.509	1.110
G20T4	10	0	25.435	2.426	0.767

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	94.239	10.471		
Between Treatments	3	156.820	52.273	9.831	<0.001
Residual	27	143.561	5.317		
Total	39	394.620			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.992

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G20T3 vs. G20T1	5.480	4	7.515	<0.001	Yes
G20T3 vs. G20T4	3.085	4	4.231	0.028	Yes
G20T3 vs. G20T2	1.970	4	2.702	0.248	No
G20T2 vs. G20T1	3.510	4	4.814	0.011	Yes
G20T2 vs. G20T4	1.115	4	1.529	0.704	No
G20T4 vs. G20T1	2.395	4	3.284	0.118	No

กลุ่มที่ 21 คือ KI5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.530$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G21T1	10	0	22.660	1.225	0.387
G21T2	10	0	25.125	1.520	0.481
G21T3	10	0	26.710	1.112	0.352
G21T4	10	0	25.835	1.761	0.557

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	41.510	4.612		
Between Treatments	3	90.853	30.284	25.690	<0.001
Residual	27	31.829	1.179		
Total	39	164.193			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G21T3 vs. G21T1	4.050	4	11.796	<0.001	Yes
G21T3 vs. G21T2	1.585	4	4.616	0.015	Yes
G21T3 vs. G21T4	0.875	4	2.548	0.294	No
G21T4 vs. G21T1	3.175	4	9.247	<0.001	Yes
G21T4 vs. G21T2	0.710	4	2.068	0.473	No
G21T2 vs. G21T1	2.465	4	7.179	<0.001	Yes

ตารางแสดงผลวิเคราะห์ความแข็งแรงด้านล่างกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีการวัดซ้ำ

กลุ่มที่ 1 คือ FB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.124$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G1T1	10	0	28.905	1.975	0.625
G1T2	10	0	35.435	2.365	0.748
G1T3	10	0	34.665	5.318	1.682
G1T4	10	0	35.035	4.357	1.378

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	97.848	10.872		
Between Treatments	3	285.713	95.238	6.227	0.002
Residual	27	412.950	15.294		
Total	39	796.511			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = 0.002$). To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.893

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G1T2 vs. G1T1	6.530	4	5.280	0.005	Yes
G1T2 vs. G1T3	0.770	4	0.623	0.971	No
G1T2 vs. G1T4	0.400	4	0.323	0.996	Do Not Test
G1T4 vs. G1T1	6.130	4	4.957	0.008	Yes
G1T4 vs. G1T3	0.370	4	0.299	0.997	Do Not Test
G1T3 vs. G1T1	5.760	4	4.658	0.014	Yes

กลุ่มที่ 2 คือ FB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.031)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.167)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G2T1	10	0	28.780	3.187	1.008
G2T2	10	0	28.115	2.445	0.773
G2T3	10	0	35.500	3.536	1.118
G2T4	10	0	28.620	1.652	0.522

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	17.818	1.980		
Between Treatments	3	369.385	123.128	12.570	<0.001
Residual	27	264.470	9.795		
Total	39	651.672			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.999

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G2T3 vs. G2T2	7.385	4	7.462	<0.001	Yes
G2T3 vs. G2T4	6.880	4	6.952	<0.001	Yes
G2T3 vs. G2T1	6.720	4	6.790	<0.001	Yes
G2T1 vs. G2T2	0.665	4	0.672	0.964	No
G2T1 vs. G2T4	0.160	4	0.162	1.000	Do Not Test
G2T4 vs. G2T2	0.505	4	0.510	0.984	Do Not Test

กลุ่มที่ 3 คือ FB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.726$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G3T1	10	0	29.020	2.420	0.765
G3T2	10	0	28.135	2.282	0.722
G3T3	10	0	26.830	3.289	1.040
G3T4	10	0	25.035	2.152	0.681

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	118.952	13.217		
Between Treatments	3	89.986	29.995	6.767	0.002
Residual	27	119.686	4.433		
Total	39	328.624			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = 0.002$). To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 0.924

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G3T1 vs. G3T4	3.985	4	5.985	0.001	Yes
G3T1 vs. G3T3	2.190	4	3.289	0.117	No
G3T1 vs. G3T2	0.885	4	1.329	0.784	Do Not Test
G3T2 vs. G3T4	3.100	4	4.656	0.014	Yes
G3T2 vs. G3T3	1.305	4	1.960	0.519	Do Not Test
G3T3 vs. G3T4	1.795	4	2.696	0.249	No

กลุ่มที่ 4 คือ FB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.684$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G4T1	10	0	22.020	2.420	0.765
G4T2	10	0	20.050	2.213	0.700
G4T3	10	0	24.480	2.173	0.687
G4T4	10	0	23.110	1.140	0.361

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	60.944	6.772		
Between Treatments	3	104.965	34.988	10.494	<0.001
Residual	27	90.018	3.334		
Total	39	255.926			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 0.995

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G4T3 vs. G4T2	4.430	4	7.672	<0.001	Yes
G4T3 vs. G4T1	2.460	4	4.260	0.027	Yes
G4T3 vs. G4T4	1.370	4	2.373	0.355	No
G4T4 vs. G4T2	3.060	4	5.300	0.005	Yes
G4T4 vs. G4T1	1.090	4	1.888	0.550	No
G4T1 vs. G4T2	1.970	4	3.412	0.099	No

กลุ่มที่ 5 คือ FI3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.178)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.423)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G5T1	10	0	27.960	3.319	1.050
G5T2	10	0	34.435	3.087	0.976
G5T3	10	0	30.485	2.439	0.771
G5T4	10	0	36.465	3.940	1.246

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	41.689	4.632		
Between Treatments	3	440.300	146.767	11.775	<0.001
Residual	27	336.535	12.464		
Total	39	818.525			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.998

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G5T4 vs. G5T1	8.505	4	7.618	<0.001	Yes
G5T4 vs. G5T3	5.980	4	5.356	0.004	Yes
G5T4 vs. G5T2	2.030	4	1.818	0.580	No
G5T2 vs. G5T1	6.475	4	5.800	0.002	Yes
G5T2 vs. G5T3	3.950	4	3.538	0.082	No
G5T3 vs. G5T1	2.525	4	2.262	0.396	No

กลุ่มที่ 6 คือ FI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.041)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.122)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G6T1	10	0	29.755	3.679	1.163
G6T2	10	0	29.370	1.772	0.560
G6T3	10	0	29.515	2.014	0.637
G6T4	10	0	28.765	1.636	0.517

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	41.124	4.569		
Between Treatments	3	5.339	1.780	0.283	0.837
Residual	27	169.544	6.279		
Total	39	216.007			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0.837).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.049

The power of the performed test (0.049) is below the desired power of 0.800.

You should interpret the negative findings cautiously.

กลุ่มที่ 7 คือ F15

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Failed (P = 0.007)

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%
G7T1	10	0	29.300	27.850	30.000
G7T2	10	0	29.725	27.800	30.500
G7T3	10	0	29.750	28.800	30.650
G7T4	10	0	27.725	27.000	30.900

Chi-square= 6.273 with 3 degrees of freedom. (P = 0.099)

The differences in the median values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0.099)

กลุ่มที่ 8 คือ VB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.844$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G8T1	10	0	12.930	0.868	0.274
G8T2	10	0	25.915	4.254	1.345
G8T3	10	0	21.445	3.316	1.049
G8T4	10	0	23.045	1.562	0.494

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	110.678	12.298		
Between Treatments	3	935.516	311.839	46.784	<0.001
Residual	27	179.968	6.665		
Total	39	1226.162			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G8T2 vs. G8T1	12.985	4	15.905	<0.001	Yes
G8T2 vs. G8T3	4.470	4	5.475	0.003	Yes
G8T2 vs. G8T4	2.870	4	3.515	0.085	No
G8T4 vs. G8T1	10.115	4	12.389	<0.001	Yes
G8T4 vs. G8T3	1.600	4	1.960	0.519	No
G8T3 vs. G8T1	8.515	4	10.430	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 9 คือ VB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.049)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.057)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G9T1	10	0	11.990	1.410	0.446
G9T2	10	0	15.725	1.851	0.585
G9T3	10	0	22.395	4.966	1.570
G9T4	10	0	23.255	2.107	0.666

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	110.080	12.231		
Between Treatments	3	877.610	292.537	39.383	<0.001
Residual	27	200.555	7.428		
Total	39	1188.244			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G9T4 vs. G9T1	11.265	4	13.071	<0.001	Yes
G9T4 vs. G9T2	7.530	4	8.737	<0.001	Yes
G9T4 vs. G9T3	0.860	4	0.998	0.894	No
G9T3 vs. G9T1	10.405	4	12.073	<0.001	Yes
G9T3 vs. G9T2	6.670	4	7.739	<0.001	Yes
G9T2 vs. G9T1	3.735	4	4.334	0.024	Yes

กลุ่มที่ 10 คือ VB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.627$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G10T1	10	0	11.235	1.670	0.528
G10T2	10	0	17.650	1.581	0.500
G10T3	10	0	19.105	1.593	0.504
G10T4	10	0	17.395	1.933	0.611

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	20.995	2.333		
Between Treatments	3	365.352	121.784	39.583	<0.001
Residual	27	83.070	3.077		
Total	39	469.417			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G10T3 vs. G10T1	7.870	4	14.188	<0.001	Yes
G10T3 vs. G10T4	1.710	4	3.083	0.155	No
G10T3 vs. G10T2	1.455	4	2.623	0.271	Do Not Test
G10T2 vs. G10T1	6.415	4	11.565	<0.001	Yes
G10T2 vs. G10T4	0.255	4	0.460	0.988	Do Not Test
G10T4 vs. G10T1	6.160	4	11.106	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 11 คือ VB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.547$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G11T1	10	0	13.200	1.402	0.443
G11T2	10	0	13.370	1.673	0.529
G11T3	10	0	13.995	1.389	0.439
G11T4	10	0	12.930	1.340	0.424

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	49.198	5.466		
Between Treatments	3	6.131	2.044	2.030	0.133
Residual	27	27.176	1.007		
Total	39	82.505			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ($P = 0.133$).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.242

The power of the performed test (0.242) is below the desired power of 0.800.

You should interpret the negative findings cautiously.

กลุ่มที่ 12 คือ VI3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.051)

Equal Variance Test: Failed (P = 0.007)

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%
G12T1	10	0	12.250	11.600	12.850
G12T2	10	0	28.200	24.450	31.950
G12T3	10	0	21.400	19.700	22.700
G12T4	10	0	22.275	19.300	24.150

Chi-square= 27.120 with 3 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
G12T2 vs G12T1	30.000	7.348	Yes
G12T2 vs G12T3	16.000	3.919	Yes
G12T2 vs G12T4	14.000	3.429	No
G12T4 vs G12T1	16.000	3.919	Yes
G12T4 vs G12T3	2.000	0.490	No
G12T3 vs G12T1	14.000	3.429	No

กลุ่มที่ 13 คือ VI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.066$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G13T1	10	0	11.490	1.641	0.519
G13T2	10	0	22.945	2.727	0.862
G13T3	10	0	21.425	3.396	1.074
G13T4	10	0	20.540	3.379	1.068

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	181.135	20.126		
Between Treatments	3	801.754	267.251	61.908	<0.001
Residual	27	116.556	4.317		
Total	39	1099.445			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G13T2 vs. G13T1	11.455	4	17.434	<0.001	Yes
G13T2 vs. G13T4	2.405	4	3.660	0.069	No
G13T2 vs. G13T3	1.520	4	2.313	0.376	Do Not Test
G13T3 vs. G13T1	9.935	4	15.121	<0.001	Yes
G13T3 vs. G13T4	0.885	4	1.347	0.777	Do Not Test
G13T4 vs. G13T1	9.050	4	13.774	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 14 คือ VI5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.159)

Equal Variance Test Passed (P = 0.932)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G14T1	10	0	13.820	1.506	0.476
G14T2	10	0	30.390	1.748	0.553
G14T3	10	0	28.560	1.748	0.553
G14T4	10	0	27.520	1.719	0.544

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	39.067	4.341		
Between Treatments	3	1730.475	576.825	247.534	<0.001
Residual	27	62.918	2.330		
Total	39	1832.460			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G14T2 vs. G14T1	16.570	4	34.326	<0.001	Yes
G14T2 vs. G14T4	2.870	4	5.945	0.002	Yes
G14T2 vs. G14T3	1.830	4	3.791	0.057	No
G14T3 vs. G14T1	14.740	4	30.535	<0.001	Yes
G14T3 vs. G14T4	1.040	4	2.154	0.438	No
G14T4 vs. G14T1	13.700	4	28.380	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 15 คือ KB2

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.051$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G15T1	10	0	22.535	1.701	0.538
G15T2	10	0	31.495	7.626	2.412
G15T3	10	0	28.490	5.548	1.754
G15T4	10	0	35.705	5.406	1.710

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	668.274	74.253		
Between Treatments	3	920.007	306.669	19.655	<0.001
Residual	27	421.270	15.603		
Total	39	2009.551			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G15T4 vs. G15T1	13.170	4	10.544	<0.001	Yes
G15T4 vs. G15T3	7.215	4	5.776	0.002	Yes
G15T4 vs. G15T2	4.210	4	3.370	0.105	No
G15T2 vs. G15T1	8.960	4	7.173	<0.001	Yes
G15T2 vs. G15T3	3.005	4	2.406	0.343	No
G15T3 vs. G15T1	5.955	4	4.767	0.012	Yes

กลุ่มที่ 16 คือ KB3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.123)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.626)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G16T1	10	0	10.440	2.088	0.660
G16T2	10	0	23.940	6.637	2.099
G16T3	10	0	23.420	2.573	0.814
G16T4	10	0	20.510	3.385	1.070

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	207.806	23.090		
Between Treatments	3	1181.597	393.866	27.226	<0.001
Residual	27	390.602	14.467		
Total	39	1780.005			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G16T2 vs. G16T1	13.500	4	11.224	<0.001	Yes
G16T2 vs. G16T4	3.430	4	2.852	0.207	No
G16T2 vs. G16T3	0.520	4	0.432	0.990	Do Not Test
G16T3 vs. G16T1	12.980	4	10.792	<0.001	Yes
G16T3 vs. G16T4	2.910	4	2.419	0.338	Do Not Test
G16T4 vs. G16T1	10.070	4	8.372	<0.001	Yes

กลุ่มที่ 17 คือ KB4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.093)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.105)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G17T1	10	0	2.410	0.207	0.0653
G17T2	10	0	4.140	0.552	0.174
G17T3	10	0	6.080	1.275	0.403
G17T4	10	0	6.875	1.051	0.332

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	4.931	0.548		
Between Treatments	3	120.685	40.228	47.713	<0.001
Residual	27	22.765	0.843		
Total	39	148.380			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G17T4 vs. G17T1	4.465	4	15.377	<0.001	Yes
G17T4 vs. G17T2	2.735	4	9.419	<0.001	Yes
G17T4 vs. G17T3	0.795	4	2.738	0.237	No
G17T3 vs. G17T1	3.670	4	12.639	<0.001	Yes
G17T3 vs. G17T2	1.940	4	6.681	<0.001	Yes
G17T2 vs. G17T1	1.730	4	5.958	0.001	Yes

กลุ่มที่ 18 คือ KB5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.052$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G18T1	10	0	4.395	0.835	0.264
G18T2	10	0	7.180	0.776	0.245
G18T3	10	0	14.135	2.245	0.710
G18T4	10	0	13.265	1.415	0.447

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	16.662	1.851		
Between Treatments	3	668.642	222.881	103.058	<0.001
Residual	27	58.392	2.163		
Total	39	743.696			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G18T3 vs. G18T1	9.740	4	20.944	<0.001	Yes
G18T3 vs. G18T2	6.955	4	14.956	<0.001	Yes
G18T3 vs. G18T4	0.870	4	1.871	0.557	No
G18T4 vs. G18T1	8.870	4	19.073	<0.001	Yes
G18T4 vs. G18T2	6.085	4	13.085	<0.001	Yes
G18T2 vs. G18T1	2.785	4	5.989	0.001	Yes

กลุ่มที่ 19 คือ KI3

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.218$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G19T1	10	0	23.210	1.908	0.603
G19T2	10	0	35.450	5.776	1.827
G19T3	10	0	30.370	4.017	1.270
G19T4	10	0	28.845	3.584	1.133

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	230.873	25.653		
Between Treatments	3	761.486	253.829	18.881	<0.001
Residual	27	362.979	13.444		
Total	39	1355.338			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G19T2 vs. G19T1	12.240	4	10.557	<0.001	Yes
G19T2 vs. G19T4	6.605	4	5.697	0.002	Yes
G19T2 vs. G19T3	5.080	4	4.381	0.022	Yes
G19T3 vs. G19T1	7.160	4	6.175	0.001	Yes
G19T3 vs. G19T4	1.525	4	1.315	0.789	No
G19T4 vs. G19T1	5.635	4	4.860	0.010	Yes

กลุ่มที่ 20 คือ KI4

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed (P = 0.054)

Equal Variance Test: Passed (P = 0.468)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G20T1	10	0	21.755	2.368	0.749
G20T2	10	0	25.860	2.651	0.838
G20T3	10	0	29.170	3.551	1.123
G20T4	10	0	24.255	1.613	0.510

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	39.503	4.389		
Between Treatments	3	289.431	96.477	12.340	<0.001
Residual	27	211.086	7.818		
Total	39	540.021			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.999

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
G20T3 vs. G20T1	7.415	4	8.386	<0.001	Yes
G20T3 vs. G20T4	4.915	4	5.559	0.003	Yes
G20T3 vs. G20T2	3.310	4	3.744	0.061	No
G20T2 vs. G20T1	4.105	4	4.643	0.014	Yes
G20T2 vs. G20T4	1.605	4	1.815	0.581	No
G20T4 vs. G20T1	2.500	4	2.827	0.213	No

กลุ่มที่ 21 คือ KI5

One Way Repeated Measures Analysis of Variance

Normality Test: Passed ($P > 0.200$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 0.015$)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
G21T1	10	0	21.595	1.303	0.412
G21T2	10	0	23.005	1.529	0.484
G21T3	10	0	24.675	2.407	0.761
G21T4	10	0	22.545	1.420	0.449

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Subjects	9	60.231	6.692		
Between Treatments	3	49.786	16.595	9.661	<0.001
Residual	27	46.381	1.718		
Total	39	156.399			

The differences in the mean 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.

Power of performed test with $\alpha = 0.050$: 0.990

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	$P < 0.050$
G21T3 vs. G21T1	3.080	4	7.431	<0.001	Yes
G21T3 vs. G21T4	2.130	4	5.139	0.006	Yes
G21T3 vs. G21T2	1.670	4	4.029	0.039	Yes
G21T2 vs. G21T1	1.410	4	3.402	0.100	No
G21T2 vs. G21T4	0.460	4	1.110	0.861	Do Not Test
G21T4 vs. G21T1	0.950	4	2.292	0.384	Do Not Test

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชุติมา ศรีวณิชชากร เกิดเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2549 ได้เข้ารับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ที่โรงพยาบาลประทาย จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2549 ที่โรงพยาบาลโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2550-2551 และที่โรงพยาบาลสามพราน จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2552-2554

ปัจจุบันศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรม
หัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย