

การเปรียบเทียบผลการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินและ
วัสดุเคลือบซีลิกเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซินในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A comparison of remineralizing effect of resin-modified glass ionomer cement and
resin-modified calcium silicate on demineralized dentin



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

Department of Operative Dentistry

FACULTY OF DENTISTRY

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบผลการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินและวัสดุเคลือบซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ
โดย	น.ส.โซชิตา ธีระเกษมสุข
สาขาวิชา	ทันตกรรมหัตถการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.รังสิมา สุกุลณะมรรคา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.พรชัย จันทร์ชัยยานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ชัยวัฒน์ มณีบุษย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.รังสิมา สุกุลณะมรรคา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ภาวิณีย์ ปฏิพัทธ์วุฒิกุล ดิ
ตรอน)

โฆซิตา ธีระเกษมสุข : การเปรียบเทียบผลการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด
ดัดแปลงด้วยเรซินและวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซินในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ
(A comparison of remineralizing effect of resin-modified glass ionomer cement and
resin-modified calcium silicate on demineralized dentin) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ทญ.
ดร.รังสิมา สกฤษณะมรรคา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุของกลาสไอโอโนเมอร์
ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass ionomer cement; RMGIC) กับแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์
ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified calcium silicate cement; RMCSC) ทดสอบโดยใช้เนื้อฟันส่วนตัว
ฟันจากฟันกรอมแท้มนุษย์จำนวน 24 ซี่ ทำการตัดตัวฟันที่ร่อยต่อหนึ่งส่วนสามกลางตัวและหนึ่งส่วนสามปลาย
ฟันจากนั้นกรอเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสวันบนผิวเนื้อฟัน บริเวณพื้นโพรงฟันจะถูกวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคที่
3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณควบคุม บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ และบริเวณคืนกลับแร่ธาตุ ทำการแบ่งแต่ละบริเวณด้วย
การทำน้ำยาทาเล็บ โดยในขั้นแรกทำน้ำยาทาเล็บที่ผิวฟันรอบนอกทั้งหมด ผงังโพรงฟันโดยรอบ และ 1 ใน 3
ของพื้นโพรงฟันบริเวณแรกเพื่อแบ่งบริเวณควบคุม จากนั้นนำชิ้นงานไปผ่านสภาวะจำลองที่ส่งเสริมให้เกิดการ
ละลายแร่ธาตุ แล้วทำน้ำยาทาเล็บที่ 1 ใน 3 ของพื้นโพรงฟันบริเวณที่สองเพื่อแบ่งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ แบ่งขึ้น
ทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ซี่ โดยกลุ่มแรกบูรณะโพรงฟันด้วย RMGIC (กลุ่ม RMGIC) และอีกกลุ่ม
บูรณะด้วย RMCSC (กลุ่ม RMCSC) เมื่อบูรณะเสร็จ จากนั้นแช่ตัวอย่างทั้งหมดในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ
37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วัน ทำการฝังชิ้นงานทั้งหมดอะคริลิกเรซิน และตัดเป็นครึ่งชิ้นงานตามแนวใกล้
กลาง-ไกลกลาง วัดค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดนูนทุบทั้งสามบริเวณที่ระยะ 20, 40, 60, 100, 150 และ 200 μm
จากรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะกับพื้นโพรงฟัน โดยทำการวัดซ้ำในแต่ละระยะเป็นจำนวนสามรอยกุด มีระยะห่าง
ระหว่างรอยกุด 100 μm คำนวณความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนทุบในแต่ละบริเวณ
วิเคราะห์ความลึกของการเกิดการคืนกลับแร่ธาตุในแต่ละวัสดุด้วยสถิติ paired t-test และเปรียบเทียบ
ความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุระหว่างวัสดุด้วยสถิติ independent t-test กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ $p < .05$ จากผลการศึกษาพบว่าความลึกของการเกิดการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุทั้งสองชนิดมีไม่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนทุบหลังผ่านการคืน
กลับแร่ธาตุของกลุ่ม RMCSC ต่ำกว่ากลุ่ม RMGIC จากผลการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าวัสดุ RMGIC มีแนวโน้มมี
ประสิทธิภาพในการคืนกลับแร่ธาตุมากกว่าวัสดุ RMCSC

สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ

ลายมือชื่อ นิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6075809532 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORD: Resin-modified glass ionomer, Resin-modified calcium silicate, Knoop microhardness, Demineralized dentin

Chosita Teerakasemsuk : A comparison of remineralizing effect of resin-modified glass ionomer cement and resin-modified calcium silicate on demineralized dentin .

Advisor: Assoc. Prof. RANGSIMA SAKOOLNAMARKA, D.D.S, M.S., Ph.D

The purpose of this study was to compare the remineralizing ability of resin-modified glass ionomer cement (RMGIC) and resin-modified calcium silicate cement (RMCSC). Twenty-four permanent molars were cut at the middle third of crown and prepared to obtain class I cavity. The class I cavity was divided into three areas for microhardness test; control area, demineralized area and remineralized area. Nail varnish was coated on external, surrounding tooth surface and 1/3 of cavity for the control area. The specimens were subjected to pH-cycling model, and nail varnish was coated another 1/3 of cavity for demineralized area. All specimens were divided into 2 groups (n=12): RMGIC group and RMCSC group. Each cavity was filled with tested material according to the group. All specimens were immersed in deionized water at 37 °C for 30 days. All specimens were embedded in acrylic resin and cut mesiodistally into halves. Knoop microhardness test was performed on each tested area at 20, 40, 60, 100, 150 and 200 µm from restoration margin. Three indentations were made for each level, 100 µm apart. The difference of average knoop microhardness value on each area was calculated. The pair t-test was used to compare the depth of remineralization of each material. The independent t-test was used to compare remineralization effect between two materials. The significant level was set at $p < .05$. The result showed that the depth of remineralization between two materials was not different. The change in microhardness value after remineralization of the RMCSC group was lower than the RMGIC group. From the results of this study, RMGIC seems to be more effective in remineralization than RMCSC.

Field of Study: Operative Dentistry

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ.ทญ.ดร. รังสิมา สกุลณะมรรคา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดปีการศึกษาจนวิทยานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ขอขอบพระคุณรศ.ทญ.ดร.ผกาภรณ์ พันธุ์ดี พิศาลธุรกิจ ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติและขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุคณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยรวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน

โซษิตา ธีระเกษมสุข



สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาปัญหาของงานวิจัย	1
คำถามงานวิจัย	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2	5
วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass ionomer cement)..	5
แคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified calcium silicate).....	9
การตรวจสอบการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟัน	13
บทที่ 3	16

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทำวิจัย	16
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	16
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	17
วิธีการทำวิจัย.....	18
การคำนวณกลุ่มตัวอย่าง.....	18
การเลือกฟัน	18
การเตรียมโพรงฟัน	19
การแบ่งพื้นที่โพรงฟัน.....	20
สภาวะจำลองที่ส่งเสริมให้เกิดการละลายแร่ธาตุด้วยวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่าง (pH cycling model)	20
การบูรณะโพรงฟัน	21
การวัดความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน.....	22
การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	25
บทที่ 4	27
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
ผลการศึกษา.....	27
วิเคราะห์ผลการทดลอง	29
สรุปผลการทดลอง.....	33
บรรณานุกรม.....	35
ประวัติผู้เขียน.....	37
ภาคผนวก.....	45

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงชนิดและส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	24
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน (KHN) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะต่างๆ ของแต่ละกลุ่มวัสดุ โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กและตัวอักษรพิมพ์ใหญ่บนตัวเลข เป็นการเปรียบเทียบค่า KHN ในวัสดุกลุ่มเดียวกันและวัสดุต่างชนิดกันตามลำดับ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยเปรียบเทียบภายในแถวเดียวกัน.....	27
ตารางที่ 3 แสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนในแต่ละบริเวณ (Δ KHN) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะต่างๆ ของแต่ละกลุ่มวัสดุ (ตัวอักษรบนตัวเลขที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยเปรียบเทียบภายในแถวเดียวกัน)	28

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 คัดลอกจาก Lin และคณะ ในปี 1992 (22) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลูกศรชี้แสดงเรซินแท็ก (resin tag) แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลขึ้น..... 6

ภาพที่ 2 คัดลอกจาก Tanumiharja และคณะ ในปี 2001 (25) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลูกศรชี้แสดงชั้นแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange layer) บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและกลาสไอโอโนเมอร์..... 7

ภาพที่ 3 คัดลอกจาก Pereira และคณะ ในปี 1998 (29) (**ซ้าย**) แสดงแผนภาพของรอยฟันผุเทียม (outer lesion) และโซนยับยั้งคือบริเวณที่อยู่ระหว่างวัสดุบูรณะกับรอยฟันผุเทียม (**ขวา**) แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ แสดงให้เห็นโซนยับยั้ง (อยู่ระหว่างลูกศรสีขาว) FII คือวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ และ OL คือรอยฟันผุเทียม..... 8

ภาพที่ 4 คัดลอกจาก Camilleri ในปี 2014 (40) แสดงภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงพื้นผิวของวัสดุเมื่อแช่ในสารละลายแอ่งคัลบาสซอลท์เป็นเวลา 28 วัน (**ซ้าย**) ไปโอเดนทีนพบอนุภาคเม็ดกลมจำนวนมากบนพื้นผิวของไปโอเดนทีนคือพอร์ดแลนด์ไคต์ (**ขวา**) แสดงพื้นผิวของเทอรากล แอลซีพบอนุภาคเม็ดกลมจำนวนเล็กน้อย ซึ่งคือแคลเซียมฟอสเฟต..... 11

ภาพที่ 5 คัดลอกจาก Karadas และคณะ ในปี 2016 (43) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพื้นผิวของเทอรากล แอลซี (**ซ้าย**) คือการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 32 กัดพื้นผิวเป็นเวลา 15 วินาที (**ขวา**) คือการใช้ไพรเมอร์ของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ (Clearfil™ SE Bond, Kuraray Noritake, Japan) กัดพื้นผิวเป็นเวลา 20 วินาที **ลูกศรชี้** แสดงรูพรุนที่พื้นผิวของวัสดุ จะเห็นว่ากรดฟอสฟอริกสามารถทำให้เกิดรูพรุนได้มากกว่า 13

ภาพที่ 6 แสดงการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power 3.1.9.2..... 18

ภาพที่ 7 แสดงขั้นตอนการเตรียมโพรงฟัน 19

ภาพที่ 8 (ก) แสดงการแบ่งพื้นที่โพรงฟัน (**ข**) แสดงการทำน้ำยาทาเล็บเพื่อรักษาบริเวณควบคุม .. 20

ภาพที่ 9 แสดงการเคลือบน้ำยาทาเล็บเพื่อแบ่งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ..... 21

ภาพที่ 10 แสดงการฝังฟันลงในแบบหล่อซิลิโคน 23

ภาพที่ 11 แสดงตำแหน่งของห้วกดรูป 25



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาปัญหาของงานวิจัย

การบูรณะฟันในปัจจุบันมุ่งเน้นการรักษาแบบรุกรานน้อย (minimally invasive) กรอกำจัดเนื้อฟันผุเฉพาะส่วนติดเชื้อ (caries-infected dentin) เนื่องจากเป็นเนื้อฟันที่ไม่สามารถเกิดการคืนกลับแร่ธาตุได้ โดยเหลือเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อ (caries-affected dentin) ไว้เนื่องจากเป็นเนื้อฟันที่ยังเหลือโครงข่ายคอลลาเจน จึงสามารถเกิดการคืนกลับแร่ธาตุได้ (1)

ในปัจจุบันเรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสีเหมือนฟัน สามารถลอกเลียนสีของฟันธรรมชาติได้ดี มีสีให้เลือกมากมาย และสามารถรองรับแรงบดเคี้ยวได้ดี (2) มีการศึกษามากมายพบว่าการเกิดฟันผุซ้ำได้วัสดุคือความล้มเหลวที่พบมากที่สุดของการบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิต (3-5) โดยเรซินคอมโพสิตจะเกิดการหดตัวขณะที่วัสดุแข็งตัว (polymerization shrinkage) ก่อให้เกิดความเครียดบริเวณรอยต่อระหว่างฟันกับวัสดุ หากแรงที่เกิดจากการหดตัวของวัสดุมากกว่าแรงยึดติดของวัสดุ จะเกิดช่องว่างระดับจุลภาค (microgap) ระหว่างผนังโพรงฟันและวัสดุ ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่สามารถทำความสะอาดได้ จึงเป็นช่องทางเข้าของเชื้อแบคทีเรีย เมื่อเชื้อแบคทีเรียบริเวณน้ำตาลแล้วผลิตกรดออกมา ทำให้ค่า pH บริเวณนั้นลดลง หากระบบบัฟเฟอร์ในน้ำลายไม่สามารถทำให้ค่า pH กลับมาสู่ระดับปกติได้ จะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) มากกว่าการคืนกลับแร่ธาตุ (remineralization) เมื่อกระบวนการนี้เกิดต่อไปเรื่อยๆ บริเวณผนังโพรงฟันที่ติดกับวัสดุจะเกิดรอยโรคฟันผุซ้ำได้วัสดุ (secondary caries) (6) ดังนั้นการใช้วัสดุที่ส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อเป็นวัสดุฉาบโพรงฟันจึงมีประโยชน์ในการเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการละลายแร่ธาตุ (7, 8)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุที่ใช้ฉาบจุดที่สึกที่สุดของโพรงฟัน เมื่อเหลือความหนาของเนื้อฟันคลุมเนื้อเยื่อใน (remaining dentin thickness) น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากหวังผลให้วัสดุกระตุ้นการสร้างเนื้อฟันตติยภูมิ (tertiary dentin) (9) โดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะแตกตัวเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน ทำให้ค่า pH บริเวณนั้นเป็นด่างซึ่งทำให้มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ไอออนยังช่วยส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ (10) อย่างไรก็ตามแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีการละลายตัวสูง อีกทั้งยังมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และค่ากำลังอัด (compressive strength) ต่ำจึงไม่สามารถใช้ฉาบโพรงฟันเป็นบริเวณกว้างได้ (9)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (resin-modified glass ionomer cement) เป็นวัสดุฉาบโพรงฟัน (cavity liner) ที่ถูกใช้มาเป็นเวลานานเนื่องจากการแข็งตัวทันทีเมื่อฉายแสง มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน (coefficient of thermal expansion, CTE) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน สามารถเกิดพันธะเคมียึดติดกับเนื้อฟันได้ (11) และมีการยึดติดที่ติดกับวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต (12) จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุฉาบโพรงฟัน นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ทำให้เกิดคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟันผุส่วนไม่ติดเชื้อ (13)

ปัจจุบันมีวัสดุอีกกลุ่มหนึ่งที่มีข้อบ่งใช้เป็นวัสดุฉาบโพรงฟัน ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (resin-modified calcium silicate material) โดยแคลเซียมซิลิเกตเป็นวัสดุที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive material) เนื่องจากสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกอะพาไทต์บนพื้นผิวของวัสดุ มีความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำ จึงสามารถทำให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุได้ (14) อย่างไรก็ตามการบูรณะเรซินคอมโพสิตปิดทับแคลเซียมซิลิเกตไม่สามารถทำให้เสร็จได้ในหนึ่งครั้งเนื่องจากวัสดุยังไม่เกิดการตกผลึกอย่างเต็มที่ จึงส่งผลให้มีค่ากำลังยึดติดลดลง (15) จึงได้มีการพัฒนาวัสดุแคลเซียมซิลิเกตให้มีส่วนประกอบของเรซิน โดยวัสดุมีความสามารถปลดปล่อยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

โดยแคลเซียมไอออนเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นให้เซลล์ของเนื้อเยื่อในสร้างเนื้อเยื่อแข็ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุในเนื้อฟันบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุ (16) จากการทบทวนวรรณกรรม ยังไม่พบการศึกษาใดที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคืนกลับแร่ธาตุของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

คำถามงานวิจัย

เนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินจะมีการคืนกลับแร่ธาตุได้แตกต่างจากเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซินหรือไม่

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

สมมติฐานของงานวิจัย

สมมติฐานว่าง (Null hypothesis) : เนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินจะมีการคืนกลับแร่ธาตุได้ไม่แตกต่างจากเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

สมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis) : เนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินจะมีการคืนกลับแร่ธาตุได้แตกต่างจากเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

ตัวแปรต้น : ชนิดของวัสดุอบโพรงฟัน

ตัวแปรตาม : ค่าความแข็งแบบนูนของเนื้อฟันเมื่อสัมผัสกับวัสดุ

ขอบเขตของงานวิจัย

เป็นการศึกษาวิจัยแบบวิเคราะห์และทดลองที่ศึกษาผลของการฉาบโพรงฟันด้วยวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซินต่อความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุ และเปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

ข้อจำกัดของงานวิจัย

เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่อาจจำลองสภาพจริงที่เกิดขึ้นทางคลินิกได้ทั้งหมด เช่น สภาพความชื้นในโพรงฟัน และการตอบสนองของเนื้อเยื่อในที่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุในโพรงฟัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งระดับจุลภาค

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุเพื่อให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟันผู้ส่วนไม่ติดเชื้อให้สามารถต้านทานต่อการละลายแร่ธาตุได้ดีขึ้น

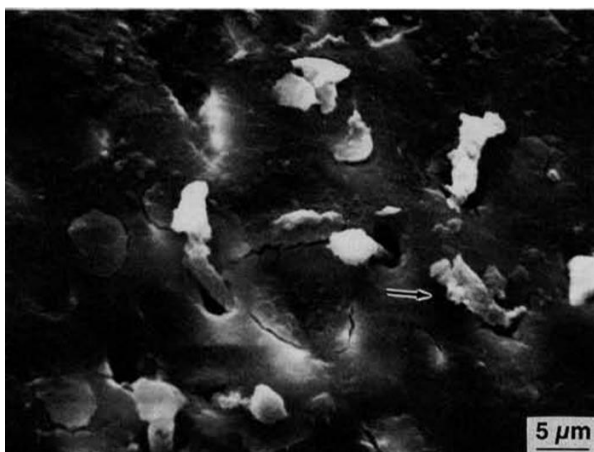
บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass ionomer cement)

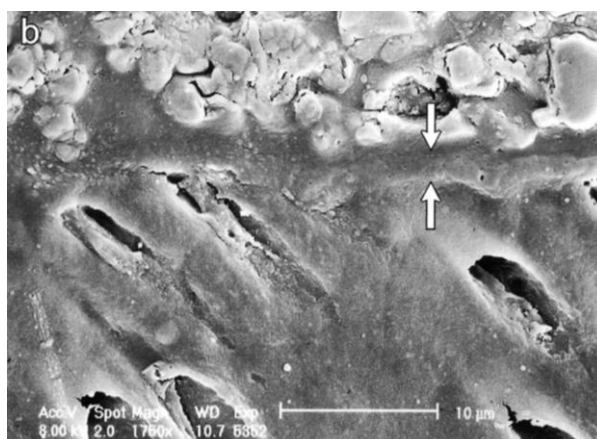
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ถูกใช้ในวงการทันตกรรมครั้งแรกเมื่อปี 1975 (17) วัสดุมีส่วนประกอบพื้นฐาน 2 ส่วน คือ ส่วนเหลวและส่วนผง องค์ประกอบของส่วนเหลว ได้แก่ น้ำ กรดพอลิคาร์บอกซิลิก (polycarboxylic acid) และกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ส่วนผงคือผงแก้วของฟลูออโร อะลูมิโนซิลิเกต (fluoro aluminosilicate glass) เมื่อผสมทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกัน จะเกิดปฏิกิริยากรด-ด่าง (acid-base reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแข่งตัวของวัสดุ โดยส่วนเหลวที่เป็นกรดจะกัดผิวแก้วและปลดปล่อยแคลเซียมไอออน อะลูมิเนียมไอออน และฟลูออไรด์ไอออนออกมา โดยหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl, COO-) บนสายโซ่โมเลกุลของกรดจะเชื่อมโยงสายโมเลกุลกลายเป็นเมทริกซ์ ส่วนผิวของแก้วที่ถูกกัดจะกลายเป็นชั้นซิลิกาไฮดรอกไซด์ โดยอนุภาคของแก้วจะกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์และทำหน้าที่เป็นวัสดุอุดแทรก (18) แต่เนื่องจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของวัสดุในช่วงแรกนานได้มากถึง 6 นาที (19) มีความไวต่อความชื้นและมีการละลายตัวสูง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเชิงกลด้อยกว่าวัสดุบูรณะชนิดอื่น (20) ต่อมาจึงมีการพัฒนามาวัสดุเพื่อให้มีเวลาก่อตัวที่ลดลงด้วยการเติมเรซินเข้าไปเป็นส่วนประกอบของส่วนเหลว ได้แก่ ฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate) และสารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) ทำให้วัสดุมีปฏิกิริยาการก่อตัวทั้งแบบปฏิกิริยากรด-ด่าง และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรส์ ซึ่งเกิดขึ้นที่เมื่อฉายแสง (13) ส่งผลให้ใช้เวลาแข็งตัวสั้นลง มีความไวต่อความชื้นและการละลายตัวลดลง และมีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยมีค่ากำลังแรงดัด (flexural strength) และกำลังแรงอัด (compressive strength) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกหลังจากปฏิกิริยาก่อตัว (20, 21)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่สามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้โดยไม่ต้องใช้สารยึดติด
 ความเป็นกรดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะละลายแร่ธาตุบนเนื้อฟันเล็กน้อย ทำให้เรซินสามารถ
 แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันดังแสดงในภาพที่ 1 เกิดเป็นการยึดติดเชิงกลขึ้น (22)



ภาพที่ 1 คัดลอกจาก Lin และคณะ ในปี 1992 (22) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 ลูกศรชี้แสดงเรซินแท็ก (resin tag) แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลขึ้น

นอกจากนี้วัสดุยังมีการยึดติดกับเนื้อฟันด้วยพันธะเคมีกล่าวคือ หมู่คาร์บอกซิลบนสาย
 โพลีเมอร์ของกรดพอลิอัลคิโนอิก (polyalkenoic acid) ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมกับแคลเซียมไอออน
 บนโครงสร้างฟันโดยตรงในส่วนที่เป็นอะพาไทต์ (23) และบริเวณรอยต่อของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
 กับผิวฟันจะเกิดขึ้นแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange layer) ดังแสดงในภาพที่ 2 ไอออนที่มีการ
 แลกเปลี่ยนคือ แคลเซียม ฟอสเฟต สทรอนเทียม ฟลูออไรด์ และอลูมิเนียม (24) ชั้นแลกเปลี่ยนประจุนี้
 สามารถทนทานต่อความเป็นกรดและด่างได้ดี (acid-base resistance layer) แม้มีความหนา
 ประมาณ 1-1.6 ไมโครเมตร และเชื่อว่าเป็นชั้นที่ทำให้เกิดแรงยึดเกาะของวัสดุกับผิวฟัน (25)



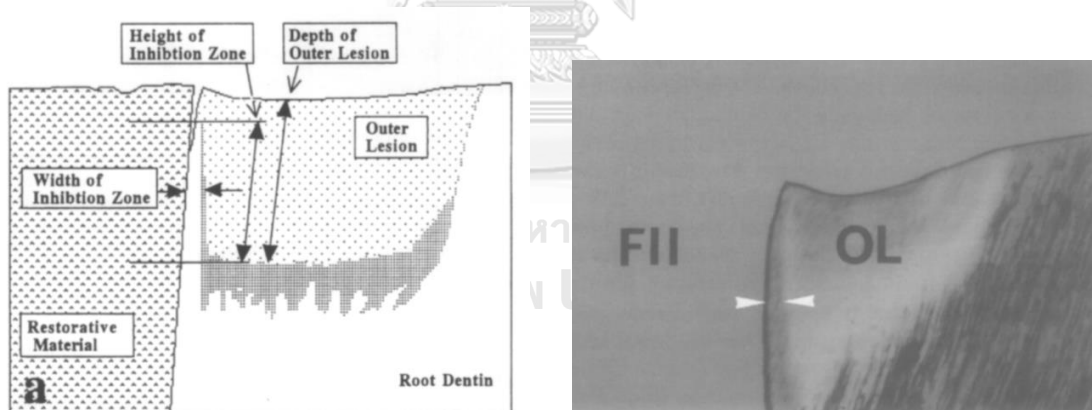
ภาพที่ 2 คัดลอกจาก Tanumiharja และคณะ ในปี 2001 (25) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลูกศรชี้แสดงชั้นแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange layer) บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและกลาสไอโอโนเมอร์

เนื่องจากการยึดติดของวัสดุกับโครงสร้างฟันเป็นการยึดติดโดยตรงจากการเกิดพันธะเคมี ซึ่งการยึดติดจะเกิดได้ดีในบริเวณที่สะอาด ดังนั้นก่อนการบูรณะจึงต้องมีการปรับสภาพโพรงฟัน เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) ที่เกิดภายหลังจากการกรอตัดฟัน โพรงฟันที่ผ่านการปรับสภาพจะมีพลังงานพื้นผิวสูงเหมาะกับการยึดติดและการก่อตัวของวัสดุ ปัจจุบันแนะนำให้ใช้กรดพลีอะคริลิก ความเข้มข้นร้อยละ 25-30 เป็นเวลา 10 วินาที ในการปรับสภาพโพรงฟัน (26)

อีกหนึ่งคุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือเป็นวัสดุที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ กลไกการต้านฟันผุของฟลูออไรด์คือ สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุ ส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ เกิดการสร้างผลึกฟลูออโรอะพาไทต์ (fluorapatite) ซึ่งมีการละลายตัวต่ำกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ และมีฤทธิ์ต้านต่อเชื้อแบคทีเรีย (27)

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์มีกลไกส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุกล่าวคือ ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจะแทรกซึมเข้าสู่ผลึกอะพาไทต์ โดย Ngo และคณะปี 2006 พิสูจน์ให้เห็นว่าฟลูออไรด์ไอออนจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุได้โดยทำ

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของเนื้อฟันบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ด้วยวิธีอิเล็กตรอนโพรมไมโครอนาลิซิส (electron probe microanalysis; EPMA) พบว่าค่าความลึกเฉลี่ยของการสะสมแร่ธาตุฟลูออรีนในรอยโรคคือ 701 ไมโครเมตร (28) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าเนื้อฟันบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุ และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์พบว่า เนื้อฟันบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุสามารถต้านทานการละลายแร่ธาตุได้ดีกว่าเนื้อฟันบริเวณที่อยู่ไกลออกไป โดยเรียกบริเวณที่ต้านทานการละลายแร่ธาตุได้ว่า โซนยับยั้ง (inhibition zone) และเรียกเนื้อฟันที่ถัดออกมาจากโซนยับยั้งว่า เอพท์เตอร์ลีชั่น (outer lesion) ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยความกว้างของโซนยับยั้งขึ้นกับชนิดของวัสดุ (29) เมื่อวัดค่าความแข็งระดับจุลภาคพบว่า โซนยับยั้งมีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเอพท์เตอร์ลีชั่น เนื่องจากโซนยับยั้งมีการคืนกลับแร่ธาตุจากวัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (30, 31)



ภาพที่ 3 คัดลอกจาก Pereira และคณะ ในปี 1998 (29) (ซ้าย) แสดงแผนภาพของรอยฟันผุเทียม (outer lesion) และโซนยับยั้งคือบริเวณที่อยู่ระหว่างวัสดุบูรณะกับรอยฟันผุเทียม (ขวา) แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ แสดงให้เห็นโซนยับยั้ง (อยู่ระหว่างลูกศรสีขาว) FII คือวัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ และ OL คือรอยฟันผุเทียม

Maneenut และคณะปี 2003 ได้ทำการวัดความแข็งผิวของเนื้อฟันผุส่วนไม่ติดเชื้อ (caries-affected dentin) บริเวณที่สัมผัสกับวัสดุกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน พบว่าค่า

ความแข็งแรงของเนื้อฟันที่ระยะ 20 ไมโครเมตรจากพื้นโพรงฟันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อสัมผัสกับวัสดุเป็นเวลา 30 วัน (31)

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุคือปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมกับชนิดดัดแปลงด้วยเรซินพบว่า 1-2 วันแรก กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่า แต่หลังจากนั้นจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์น้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินเนื่องจากฮีมาซึ่งเป็นส่วนประกอบของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงจะดูดซึมน้ำจากสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการแพร่ผ่านของฟลูออไรด์ได้ออนได้ในระยะยาว (32) จากคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมด ทำให้สรุปได้ว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุฉาบโพรงฟันที่มีความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุได้

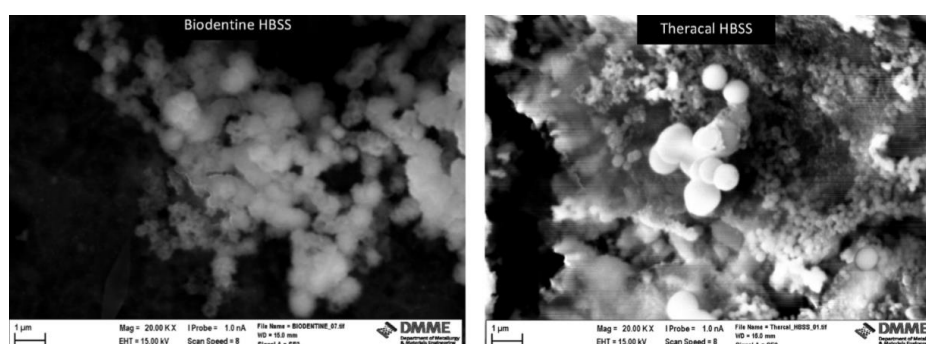
แคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified calcium silicate)

เอ็มทีเอ (mineral trioxide aggregate; MTA) เป็นวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตชนิดแรกที่ถูกพัฒนามาใช้ในทางทันตกรรม มีข้อบ่งชี้ให้ใช้ในการรักษาทางเอนโดดอนต์ (33) เมื่อใช้เอ็มทีเอปิดรอยทะลุเนื้อเยื่อในโดยตรงพบว่าให้ผลสำเร็จร้อยละ 98-100 โดยเอ็มทีเอเหนียวนำไปเนื้อเยื่อในสร้างสะพานเนื้อฟัน (dentin bridge) ที่มีรูพรุนน้อยกว่าการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (34) อย่างไรก็ตาม เอ็มทีเอมีข้อด้อยหลายประการคือใช้งานยาก มีเวลาการแข็งตัวนาน โดยมีเวลาแข็งตัวประมาณ 3 ชั่วโมง (35) จึงไม่เหมาะจะนำมาใช้ในทางทันตกรรมบูรณะ ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุแคลเซียมซิลิเกตให้มีเวลาแข็งตัวลดลงเหลือ 12 นาที คือ ไบโอเดนทีน (Biodentine™, Septodont, Saint Maur-des-Fossés, France) ไบโอเดนทีนมีข้อบ่งชี้เป็นวัสดุที่ใช้ทางการรักษาเอนโดดอนต์และสามารถใช้ทดแทนเนื้อฟันที่สูญเสียไป ใช้งานได้ง่ายขึ้น และมีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น (36) อย่างไรก็ตามการยึดติด

วัสดุเรซินคอมโพสิตกับไบโอเดนตินนั้นจำเป็นต้องรอให้ไบโอเดนตินเกิดการตกผลึกอย่างเต็มที่ก่อน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์เพื่อให้วัสดุแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านต่อการหดตัวของเรซินคอมโพสิต (37) ทำให้ไม่สามารถบูรณะให้เสร็จภายในหนึ่งครั้งได้ จึงได้พัฒนาวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีกับเรซินคอมโพสิตได้ทันที โดยเพิ่มส่วนประกอบที่เป็นเรซิน เรียกว่าวัสดุแคลเซียมซิลิเกตชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน ปัจจุบันมีเพียงผลิตภัณฑ์เดียวคือเทอรากล แอลซี (Theracal LC[®], Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA) มีข้อบ่งชี้คือ การปิดรอยทะลุเนื้อเยื่อในโดยตรง (direct pulp capping) หรือปิดเนื้อเยื่อในโดยอ้อม (indirect pulp capping) (16) เทอรากล แอลซีจะอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นหลอด ประกอบไปด้วยส่วนผสมคือ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ชนิดที่ 3 (type III Portland cement) ร้อยละ 44 โดยมวล ฟูมซิลิกา (fumed silica) ร้อยละ 7 โดยมวล แบเรียม ซัลเฟต (barium sulfate) ร้อยละ 3 โดยมวล บิสมัทออกไซด์ (bismuth oxide) ร้อยละ 3 โดยมวล ตัวก่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์และเรซินอื่นๆ ร้อยละ 43 โดยมวล (38)

เนื่องจากมีส่วนประกอบเป็นพอร์ตแลนด์ซีเมนต์จึงมีการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยจะเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ แต่เนื่องจากไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบในวัสดุ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงแนะนำให้วางบนเนื้อฟันที่ชื้น (moist dentin) เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของเทอรากล แอลซีแล้วพบว่าไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ เนื่องจากวัสดุต้องอาศัยการดูดน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา แต่ความชื้นจากเนื้อฟันมีไม่เพียงพอ ดังนั้นเมื่อใช้เทอรากล แอลซีเป็นวัสดุปิดทับเนื้อเยื่อใน จะไม่เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเหมือนกับเอมทีเอหรือไบโอเดนติน (39) Camilleri ปี 2014 ได้แช่ไบโอเดนตินและเทอรากล แอลซีในสารละลายแฮงคส์บาลาสซอลท์ (Hank's Balanced Salt Solution; HBSS) เป็นเวลา 28 วันพบว่า พื้นผิวของไบโอเดนตินกับเทอรากลแอลซีมีการเกิดอนุภาคเม็ดกลมที่พื้นผิวของไบโอเดนตินมากกว่า

เทอร์ราแคล แอลซีดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อทำการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction analysis; XRD analysis) พบว่าไบโอเดนตินเกิดพีคของพอร์ตแลนด์ไดต์ ซึ่งคือรูปแบบหนึ่งของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในขณะที่ตรวจไม่พบพีคนี้ในเทอร์ราแคล แอลซี ทำให้ทราบว่าเทอร์ราแคล แอลซีไม่มีความสามารถในการปลดปล่อยแคลเซียมไฮดรอกไซด์เหมือนแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์ชนิดอื่น แต่จะเกิดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผิวของวัสดุแทน (4)



ภาพที่ 4 คัดลอกจาก Camilleri ในปี 2014 (4) แสดงภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของวัสดุเมื่อแช่ในสารละลายแอสคัลบาลาสซอลท์เป็นเวลา 28 วัน (ซ้าย) ไบโอเดนติน พบอนุภาคเม็ดกลมจำนวนมากบนพื้นผิวของไบโอเดนตินคือพอร์ตแลนด์ไดต์ (ขวา) แสดงพื้นผิวของเทอร์ราแคล แอลซีพบอนุภาคเม็ดกลมจำนวนเล็กน้อย ซึ่งคือแคลเซียมฟอสเฟต

นอกจากนี้เทอร์ราแคล แอลซีจะแข็งตัวโดยการฉายแสงจากการที่มีส่วนประกอบของเรซินที่มีความชอบน้ำ (hydrophilic resin) อยู่ด้วย โดยบริษัทผู้ผลิตแนะนำว่าความหนาของวัสดุที่สามารถฉายแสงได้แต่ละชั้นไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และให้ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที แต่ Gandolfi และคณะปี 2012 พบว่าเมื่อฉายแสงความเข้ม 1700 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) เป็นเวลา 20 วินาที วัสดุสามารถบ่มตัวด้วยแสงได้หนา 1.7 มิลลิเมตร (16)

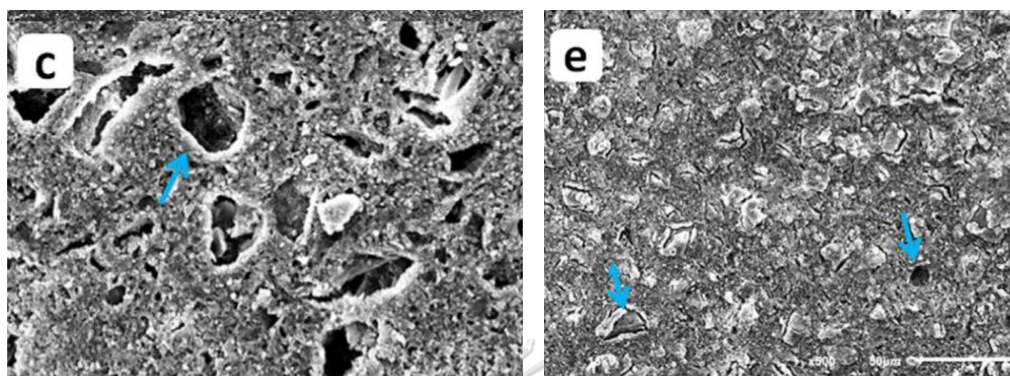
เมื่อวัสดุสัมผัสกับน้ำจะดูดซึมน้ำและเกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออน โดย Gandolfi และคณะปี 2012 พบว่าเทอร์ราแคลแอลซีสามารถปลดปล่อยแคลเซียมได้มากกว่าเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแคลเซียมไอออนจะเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวกันของเซลล์ การหลั่งสารชีวภาพ และ

เกิดการตกตะกอนของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของสะพานเนื้อฟัน (16) ผลที่ขัดแย้งนี้อาจเกิดจากการใช้วิธีการวัดผลคนละวิธี (40) อย่างไรก็ตาม Yamamoto และคณะปี 2017 ได้วัดปริมาณการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนของเทอรากลอส แอลซีพบว่าสามารถปลดปล่อยได้น้อยกว่าเอ็มทีเอเนื่องจากเทอรากลอส แอลซีมีส่วนประกอบของเรซินการละลายตัวที่ต่ำ ส่งผลให้ปลดปล่อยแคลเซียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนได้น้อย และพบว่าค่า pH ของสิ่งแวดล้อมมีค่าลดลงจาก 9.3 จนถึง 8 ภายในเวลา 25 ชั่วโมงหลังแข็งตัว (41)

จากคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถปลดปล่อยแคลเซียมไอออนได้ ทำให้วัสดุมีความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุ โดย Li และ คณะปี 2017 ได้เปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกต โดยการทำให้เนื้อฟันสูญเสียแร่ธาตุและฉาบด้วยวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกต จากนั้นแช่ชิ้นงานในของเหลวที่คล้ายกับของเหลวในมนุษย์ (simulate body fluid, SBF) ประเมินผลโดยวัดปริมาณแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีฟลูออโรมิสชันกันอีเล็กตรอนโพรบไมโครอานาไลซิส (Field Emission Gun- electron probe microanalysis; Feg-EPMA) พบว่าที่ระยะเวลา 1 เดือน เนื้อฟันบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับวัสดุแล้วจะมีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงขึ้น โดยเทอรากลอสแอลซีมีความลึกของการคืนกลับแร่ธาตุร้อยละ 14.3 ของความลึกรอยโรค (42)

เมื่อพิจารณาการยึดติดของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตกับเทอรากลอส แอลซีพบว่าเทอรากลอส แอลซีให้กำลังยึดเหนี่ยว (shear bond strength) กับเรซินคอมโพสิตมากกว่าเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งการใช้สารยึดติดระบบโททอลเอทซ์และเซลฟ์เอทซ์ เนื่องจากเทอรากลอส แอลซีมีส่วนประกอบของไดเมทาคริลเลตมอนอเมอร์ (dimethacrylate monomer) ทำให้เกิดการเชื่อมยึดที่ดีกับสารยึดติด นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกในระบบโททอลเอทซ์ยังทำให้เกิดความขรุขระของพื้นผิวเทอรากลอส แอลซีมากกว่าระบบเซลฟ์เอทซ์ ทำให้เกิดเป็นรูพรุนระดับจุลภาค (micromechanical

interlocking) ดังแสดงในภาพที่ 5 (43) นอกจากนี้ยังพบอีกหลายการศึกษาที่ให้ผลไปในทางเดียวกัน (44-46)



ภาพที่ 5 คัดลอกจาก Karadas และคณะ ในปี 2016 (43) แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พื้นผิวของเทอร์ราเคล แอลซี (ซ้าย) คือการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 32 กัดพื้นผิวเป็นเวลา 15 วินาที (ขวา) คือการใช้ไพรเมอร์ของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ (Clearfil™ SE Bond, Kuraray Noritake, Japan) กัดพื้นผิวเป็นเวลา 20 วินาที **ลูกศรชี้** แสดงรูพรุนที่พื้นผิวของวัสดุ จะเห็นว่ากรดฟอสฟอริกสามารถทำให้เกิดรูพรุนได้มากกว่า

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมด ยังไม่พบการศึกษาใดที่เปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุเคลือบไอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินกับเคลือบซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน

การตรวจสอบการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟัน

การวัดการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟันมีหลายวิธี วิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ โดยวิธีนี้สามารถประเมินความลึกของการสูญเสียและการคืนกลับแร่ธาตุได้ แต่ไม่สามารถวัดข้อมูลเชิงปริมาณได้ อีกวิธีหนึ่งคือวัดปริมาณแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยไมโครเรดิโอกราฟี (microradiography) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถบอกถึงปริมาณแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างแม่นยำ (47) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สามารถให้ข้อมูลส่วนอินทรีย์ที่เป็น

องค์ประกอบได้ (48) อีกทั้งยังต้องตัดชิ้นตัวอย่างให้มีความบางถึง 100 ไมโครเมตร และพื้นผิวต้องเรียบมากเพื่อความถูกต้องในการวัดผล รวมทั้งต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง (49)

วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอีกวิธีหนึ่งคือการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (microhardness) เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน สามารถเตรียมชิ้นทดสอบได้ง่าย โดยวิธีที่นิยมใช้คือการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test) และการทดสอบความแข็งแบบนูป (Knoop hardness test) วิธีการทดสอบทั้งสองแบบสามารถสะท้อนถึงปริมาณแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไป (50) และพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูปกับปริมาณแร่ธาตุที่วัดได้ด้วยวิธีไมโครเรดิโอกราฟ (48)

การทดสอบความแข็งแบบนูปมีหลักการเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ แต่ใช้หัวกดเพชรรูปร่างพีระมิดฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน โดยมีเส้นทแยงมุมเป็นสัดส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นเท่ากับ 7:1 ความลึกของรอยกดอยู่ที่ $1/30$ ของความยาวของหัวกด (50) ค่าความแข็งคำนวณจากความยาวของเส้นทแยงมุมเส้นยาวของรอยกด มีหน่วยเป็น Knoop Hardness Number (KHN) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะต้องมีพื้นผิวที่เรียบ โดยแรงกดจะเกิดการคืนตัวตามแนวเส้นทแยงมุมสั้น (elastic recovery) ดังนั้นค่าความแข็งแบบนูปจึงไม่ขึ้นกับความยืดหยุ่นของวัสดุ จึงเหมาะสำหรับใช้ประเมินความแข็งของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นที่พื้นผิว (51) เมื่อวัสดุเกิดการคืนตัว รอยกดแนวยาวแบบนูปจะไม่เปลี่ยนไป ในขณะที่รอยกดแบบวิกเกอร์จะมีความยาวเส้นทแยงมุมสั้นลง (52) และเมื่อสังเกตรอยกดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ รอยกดแบบนูปจะวัดความยาวได้ง่ายกว่ารอยกดแบบวิกเกอร์เนื่องจากมีเส้นทแยงมุมของรอยกดยาวกว่า (53) ความแข็งผิวระดับจุลภาคไม่เพียงแต่ใช้เพื่อเปรียบเทียบความแข็งที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ยังแสดงการได้รับหรือการสูญเสีย

แร่ธาตุของโครงสร้างฟันได้อีกด้วย โดยสันนิษฐานว่ามาจากองค์ประกอบทั้งส่วนอินทรีย์และอนินทรีย์
ของฟันร่วมกัน (48, 54)



บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทำวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ฟันกรามแท้มมนุษย์บนหรือล่างที่ปราศจากรอยผุหรือพยาธิสภาพใดๆ จำนวน 24 ซี่
2. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินแบบแคปซูลี A2 (GC Fuji II LC® Capsule; GC Corp., Tokyo, Japan)
3. เทอรากัล แอลซี (Theracal LC®, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA)
4. สารปรับสภาพโพรงฟัน (Dentin conditioner; GC Corp., Tokyo, Japan)
5. บีโตร์เลียมเจลลี่ (Vaseline, Thailand)
6. สารละลายกระตุ้นการละลายแร่ธาตุ (Demineralizing solution ภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
7. สารละลายกระตุ้นการคืนกลับแร่ธาตุ (Remineralizing solution ภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
8. พู่กันปลายเล็ก (Microbrush; Kerr; Orange, CA, USA)
9. สารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (0.1% thymol solution; M-dent, Thailand)
10. หัวกรอกากเพชรรูปทรงกระบอกขนาด 1 มิลลิเมตร (Jota; Rüthi/SG, Switzerland)
11. ผงขัดชนิดปราศจากฟลูออไรด์ (Pumice)
12. โพลีเอสเทอร์เรซิน
13. ยาทาเล็บสีแดงและสีน้ำเงิน (Nail vanish; Revlon, USA)
14. กระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 800 1000 และ 1200

15. น้ำปราศจากประจุ (ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

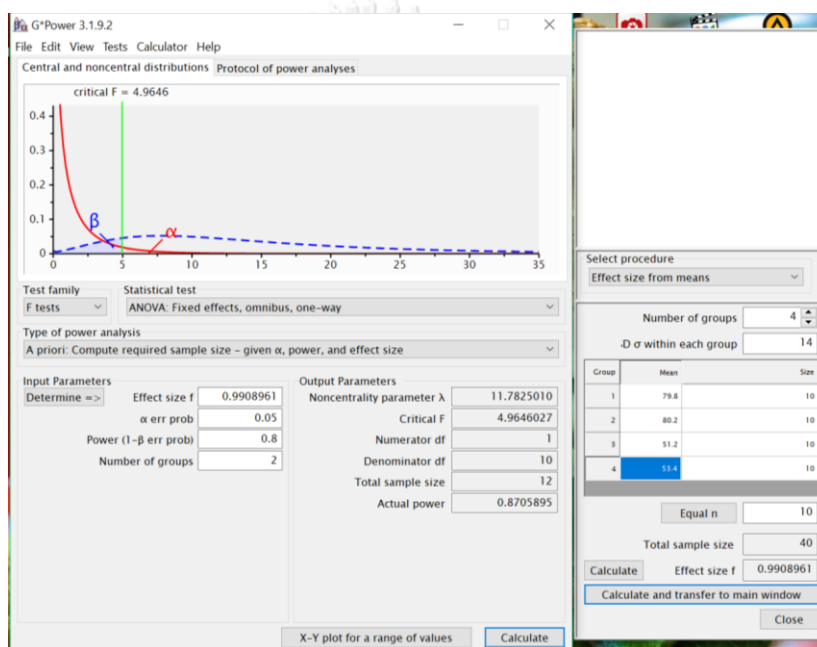
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องมือชุดหินน้ำลายอัลตราโซนิค
2. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope SZ 61, Olympus, Japan)
3. เครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Isomet[®] 1000, Buehler, IL, USA)
4. เครื่องขัดผิววัสดุ (Automatic polishing machine; NANO 2000, Pace Technologies, USA)
5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator; CONTHERM 160M, CONTHERM Scientific Ltd., New Zealand)
6. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (Branson5210, BRANSONIC, Germany)
7. ยูนิตเคลื่อนที่พร้อมด้ามกรอความเร็วสูง (Mobile unit with high speed handpiece; super mobile 85, T.D.P., Thailand)
8. เครื่องฉายแสง (Light curing unit; Elipar TriLight, 3M ESPE, USA)
9. เครื่องปั้นวัสดุ (ProMix 402E, Dentsply, USA)
10. เครื่องทดสอบความแข็งผิว (Micro hardness tester; FM700e type D, FUTURE-TECH, Japan)
11. โพรบปริทันต์ (Hu-Friedy[®], Chicago, IL, USA)
12. เวอร์เนียแบบดิจิทัล (Mitutoyo, Japan)

วิธีการทำวิจัย

การคำนวณกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power 3.1.9.2 ดังภาพที่ 6 โดยอ้างอิงค่าต่างๆ จากการศึกษาที่ใกล้เคียงกัน (55) คำนวณจำนวนน้อยที่สุดของตัวอย่างที่ต้องใช้ทดลองได้ทั้งหมด 12 ซึ่ง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้จำนวนตัวอย่างรวม 24 ซึ่ง



ภาพที่ 6 แสดงการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power 3.1.9.2

การเลือกฟัน

(ผ่านการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย HREC-DCU 2019-031 วันที่ 2 พฤษภาคม 2562) ฟันที่ใช้ในการทดลองเป็นฟันกรามแท้บนหรือล่างที่ถูกถอนออก ตรวจสอบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอกำลังขยาย 10 เท่า (Stereomicroscope SZ 61, Olympus, Japan) ให้ปราศจากรอยผุ รอยแตกหัก รอยร้าว หรือมีวัสดุบูรณะ โดยก่อนการเก็บฟัน ผู้ป่วยจะได้รับทราบข้อมูลและให้ความยินยอม รวมถึงต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของคณะ

ทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะเก็บฟันในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และจะต้องนำมาทดสอบภายใน 2 เดือน (56) กำจัดเนื้อเยื่อและคราบสกปรกบนผิวฟันด้วยเครื่องมือขูดหินปูน (hand scaler) และผงขัดที่ปราศจากฟลูออไรด์

การเตรียมโพรงฟัน

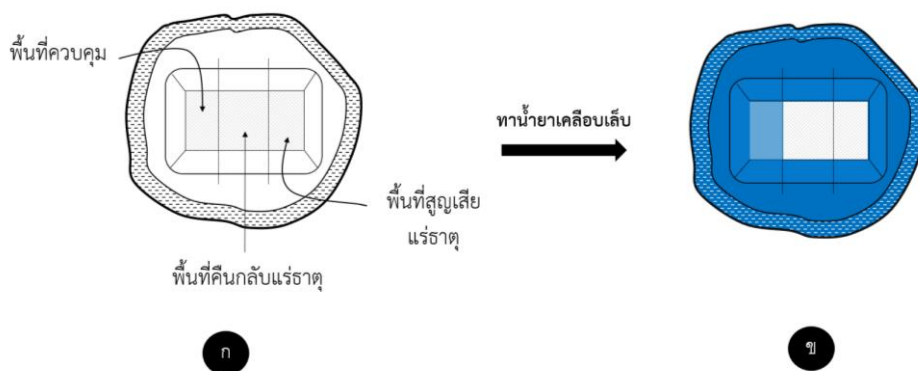
ตัดส่วนตัวฟันของฟันกรามแต่ละซี่ที่รอยต่อหนึ่งส่วนสามกลางตัวและหนึ่งส่วนสามปลายฟัน ฟันทั้งด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Isomet precision saw, Buehler, USA) โดยมีน้ำหล่อขณะตัด จากนั้นกรอเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสวินด้วยหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. (Jota, Rüthi/SG, Switzerland) โดยโพรงฟันมีความลึก 2 มม. ยาว 6 มม. และกว้าง 4 มม. ตรวจสอบความกว้างของโพรงฟันด้วยเวอร์เนียแบบดิจิทัล (Mitutoyo, Japan) เปลี่ยนหัวกรอกทุกๆ 5 โพรงฟัน ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นในเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (Branson5210, BRANSONIC, Germany) เป็นเวลา 5 นาที ตรวจสอบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด สเตอริโอกำลังขยาย 10 เท่า (Stereomicroscope SZ 61, Olympus, Japan) อีกครั้ง หากพบจุดเผย ผิของเนื้อเยื่อในให้ตัดฟันชิ้นนี้ออกจากการทดลอง การเตรียมโพรงฟันแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงขั้นตอนการเตรียมโพรงฟัน

การแบ่งพื้นที่โพรงฟัน

แบ่งพื้นที่โพรงฟันออกเป็นสามบริเวณ ได้แก่ ส่วนควบคุม ส่วนสูญเสียแร่ธาตุ และส่วนคืนกลับแร่ธาตุ ดังภาพที่ 8 โดยทั้งสามบริเวณนี้จะถูกทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคภายหลัง ทำการแบ่งแต่ละบริเวณด้วยการทาน้ำยาทาเคลือบ (Revlon, USA) โดยในขั้นแรกทาน้ำยาทาเคลือบสองชั้นที่ผิวฟันรอบนอกทั้งหมด ผนังโพรงฟันโดยรอบ และ 1 ใน 3 ของพื้นที่โพรงฟันบริเวณแรกเพื่อแบ่งบริเวณควบคุมก่อนดังภาพที่ 8 ข ทิ้งน้ำยาทาเคลือบให้แห้ง

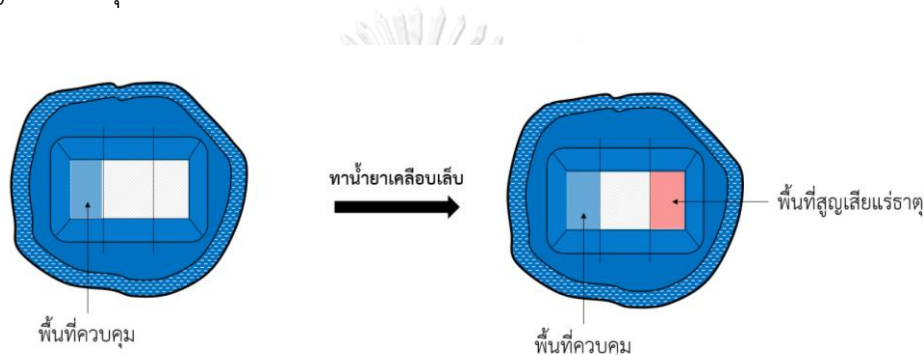


ภาพที่ 8 (ก) แสดงการแบ่งพื้นที่โพรงฟัน (ข) แสดงการทาน้ำยาทาเคลือบเพื่อรักษาบริเวณควบคุม

สถานะจำลองที่ส่งเสริมให้เกิดการละลายแร่ธาตุด้วยวิธีเปลี่ยนสถานะกรด-ด่าง (pH cycling model)

ฟันแต่ละซี่จะผ่านกระบวนการละลายแร่ธาตุสลับกับการคืนกลับแร่ธาตุ (Demineralization /Remineralization dynamic model) จากการศึกษาของ Markezan และคณะปี 2009 พบว่าเนื้อฟันที่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุจากวิธีนี้มีค่าความแข็งระดับจุลภาคใกล้เคียงกับเนื้อฟันจริงในฟันธรรมชาติ (57) โดยแช่ชิ้นงานในสารละลายกระตุ้นการละลายแร่ธาตุปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย 2.2 mM CaCl_2 , 2.2 mM NaH_2PO_4 และ 50 mM acetic acid ซึ่งมีค่า pH 4.8 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ล้างฟันด้วยน้ำปราศจากประจุเป็นเวลา 10 วินาที แล้วซับน้ำออกด้วยกระดาษชำระ จากนั้นแช่ฟันในสารละลายกระตุ้นการคืนกลับแร่ธาตุปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่ง

ประกอบด้วย 1.5 mM CaCl₂, 0.9 mM NaH₂PO₄ และ 0.15 mM KCL ซึ่งมีค่า pH 7.0 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ล้างด้วยน้ำปราศจากประจุเป็นเวลา 10 วินาที เมื่อจบ 2 ชั้นตอนนี้ นับเป็น 1 รอบ โดยทำซ้ำกระบวนการนี้จนครบ 14 วัน โดยเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกๆ รอบ กระบวนการนี้ทำภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากเสร็จสิ้นสถานะจำลองที่ส่งเสริมให้เกิด การละลายแร่ธาตุด้วยวิธีเปลี่ยนสถานะกรด-ด่าง ให้น้ำยาทาเล็บสองชั้นบนโพรงฟันเพื่อแบ่งบริเวณ พื้นที่สูญเสียแร่ธาตุดังภาพที่ 9 ใช้น้ำยาทาเล็บให้แห้ง



ภาพที่ 9 แสดงการเคลือบน้ำยาทาเล็บเพื่อแบ่งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ

การบูรณะโพรงฟัน

แบ่งชั้นทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มโดยการสุ่มเลือก กลุ่มละ 12 ชั้น โดยกลุ่มแรกบูรณะโพรงฟัน ด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (กลุ่ม RMGIC) และอีกกลุ่มบูรณะด้วยแคลเซียม ซิลิเกตซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน RMCSC (กลุ่ม RMCSC) โดยส่วนประกอบของแต่ละวัสดุแสดง ในตารางที่ 1

กลุ่ม RMGIC (GC Fuji II LC® Capsule; GC Corp., Tokyo, Japan) ปรับสภาพผิวฟันด้วย สารปรับสภาพผิวฟัน (Dentin conditioner; GC Corp., Tokyo, Japan) 10 วินาที ล้างน้ำสะอาด 10 วินาที ทำการซึบน้ำด้วยสำลีก้อนเล็กชุ่มหมาด เพื่อเนื้อฟันต้องมีความชื้นเหลืออยู่ (moist dentin) จากนั้นกดแคปซูลเพื่อให้ส่วนผงผสมกับส่วนเหลวและบั่นด้วยเครื่องปั่นวัสดุ (Promix 402E,

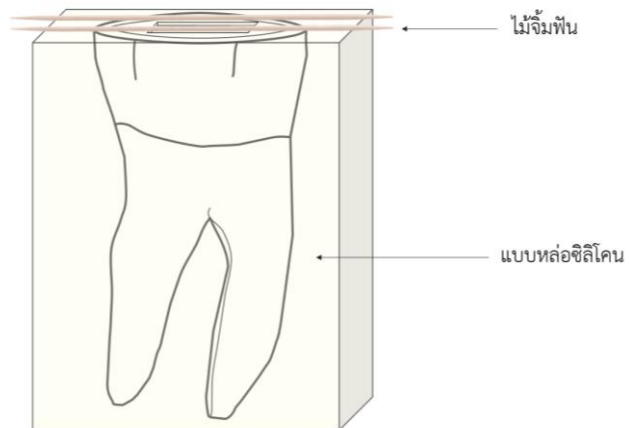
Densply, USA) เป็นเวลา 10 วินาที จึงนำแคปซูลที่ปั้นเสร็จต่อเข้ากับปืนฉีด จากนั้นฉีดวัสดุลงใน
 โพรงฟัน ทำการกำจัดวัสดุส่วนเกินโดยปิดพื้นผิวด้วยแผ่นแก้วใส (glass slide) แล้วรูดออก ฉายแสง
 20 วินาที โดยให้ปลายหน้าตัดกระบอกวางขนานกับผิววัสดุ ค่อยๆ ฉายแสงไปที่ละบริเวณจนเต็ม
 พื้นทีหน้าตัดของวัสดุ จากนั้นปกป้องพื้นผิวด้วยการทาปิโตรเลียมเจลลี่ (Vaseline, Thailand)

กลุ่ม RMCSC (Theracal LC®, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA) ฉีดน้ำล้างผิวฟันเป็น
 เวลา 10 วินาที ทำการขับน้ำออกด้วยสำลีก้อนเล็กจุ่มหมาดเพื่อให้เนื้อฟันยังเหลือความชื้นอยู่ (moist
 dentin) ฉีดวัสดุลงในโพรงฟันจนโพรงฟันมีความลึกเหลือ 1 มม. โดยประมาณความลึกโพรงฟันด้วย
 โพรบปริทันต์ (Hu-Friedy®, Chicago, IL, USA) ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที โดยให้ปลายหน้าตัด
 กระบอกวางขนานกับผิววัสดุ จากนั้นฉีดวัสดุชั้นถัดมาจนเต็มโพรงฟัน ทำการกำจัดวัสดุส่วนเกินโดย
 ปิดพื้นผิวด้วยแผ่นแก้วใส (glass slide) แล้วรูดออก ฉายแสง 20 วินาที โดยให้ปลายหน้าตัดกระบอก
 วางขนานกับผิววัสดุ ค่อยๆ ฉายแสงไปที่ละบริเวณจนเต็มพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

แช่ฟันทั้งหมดไว้ในน้ำปราศจากประจุ แล้วเก็บไว้ในตู้เก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100
 อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วัน (42, 58) โดยเปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน

การวัดความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน

ทำการฝังฟันทุกซี่ลงในโพลีเอสเตอร์เรซิน เริ่มจากยึดไม้จิ้มฟันลงบนด้านบดเคี้ยวของซี่ฟัน
 แล้วนำไปวางบนแบบหล่อซิลิโคนดังภาพที่ 10 เทโพลีเอสเตอร์เรซินลงในแม่แบบซิลิโคน ทิ้งไว้
 ประมาณ 12 ชั่วโมงเพื่อให้เรซินบ่มตัวโดยสมบูรณ์



ภาพที่ 10 แสดงการฝังฟันลงในแบบหล่อซิลิโคน

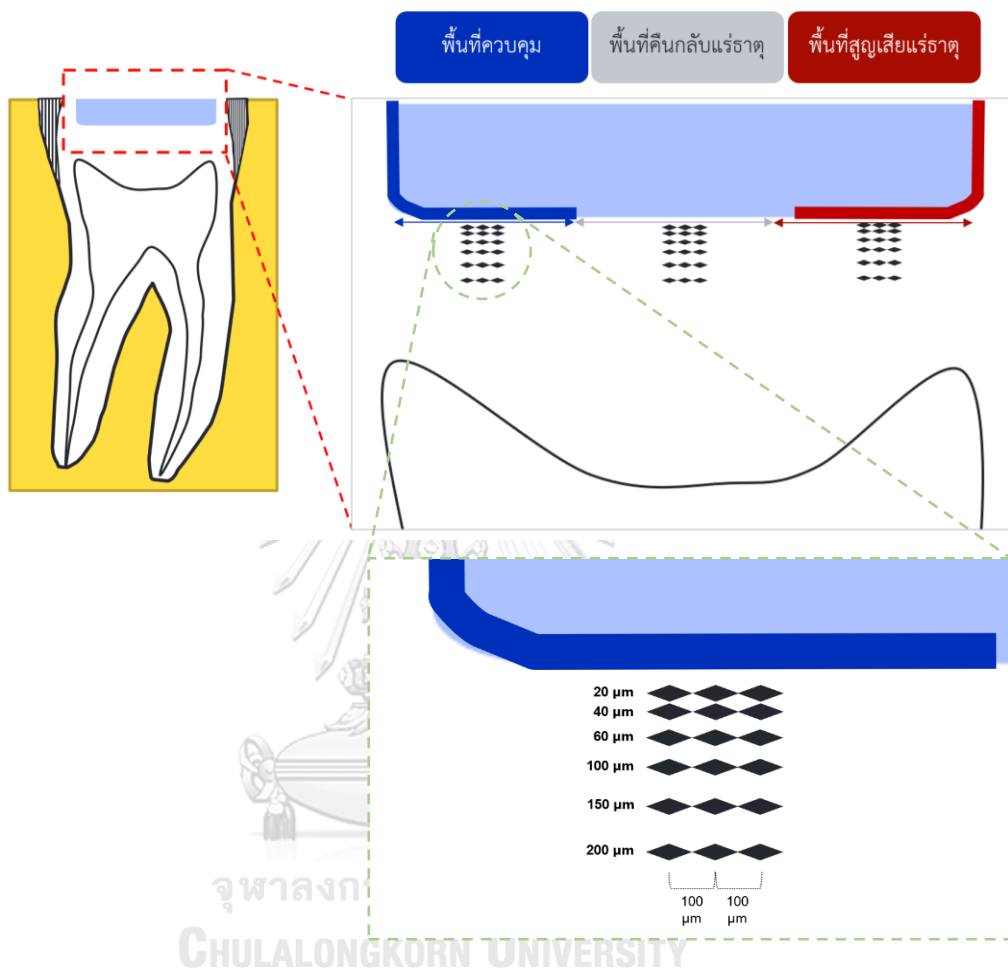


ตารางที่ 1 แสดงชนิดและส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้

ชนิดของวัสดุ	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบของวัสดุ	เลขที่ชุดผลิตภัณฑ์
GC Fuji II LC® Capsule (RMGIC)	GC Corp., Tokyo, Japan	Powder: 100%(Fluoro)aluminosilicate Liquid: 25% distilled water, 24% polyacrylic acid, 6% tartaric acid, 35% 2-hydroxyethyl methacrylate, 0.10% camphorquinone (by weight)	1901161
Theracal LC® (RMCSC)	Bisco Inc.; Schaumburg, IL, USA	44% Portland cement (type III), 7% fumed silica, 3% barium sulfate, 3% bismuth oxide, 43% resins and initiator (by weight)	1900001041
Dentin conditioner	GC Corp., Tokyo, Japan	Distilled water 77%, polyacrylic acid 20%, aluminum chloride hydrate 3%	1812111

เมื่อเรซินบ่มตัวสมบูรณ์ ให้ตัดแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ตามแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง จากนั้นทำการขัดผิววัสดุด้วยกระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 800 1000 และ 1200 โดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุ (Automatic polishing machine; NANO 2000, Pace Technologies, USA) จนเกิดผิวเรียบด้านรอยตัด ทำการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนโดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิว (Microhardness tester; FM700e type D, FUTURE-TECH, Japan) โดยใช้ หัวกดนูน ปโตมอน (Knoop diamond) ให้แรงคงที่ 10 กรัมเป็นเวลา 10 วินาที (59) กำหนดบริเวณกดลงตำแหน่งใต้ผิวฟันที่ระยะ 20 40 60 100 150 และ 200 ไมโครเมตร (58) จากผิวที่สัมผัสกับวัสดุ โดยแต่ละความลึก จะทำการวัดที่ 3 ตำแหน่งเพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยของความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนที่ระดับความลึกนั้นๆ แต่ละจุดห่างกันเป็นระยะ 100 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 11 คำนวณค่าความแข็งผิวระดับ

จุลภาคแบบนูน (KHN) จากสมการ $KHN = 14230(F/d^2)$ โดย F คือแรงกด (applied load) มีหน่วยเป็นกรัม d คือความยาวของรอยกด (indentation length) มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (59)



ภาพที่ 11 แสดงตำแหน่งของหัวกดนูน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS for window version 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และกำหนดค่านัยสำคัญที่ระดับ 0.05

- วิเคราะห์การกระจายตัวของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน (KHN) ในแต่ละบริเวณด้วย Shapiro-Wilk test และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Levene's test

- เปรียบเทียบค่า KHN ของบริเวณคีนกลับแร่ธาตุกับบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ บริเวณสูญเสียแร่ธาตุกับบริเวณควบคุม และบริเวณคีนกลับแร่ธาตุกับบริเวณควบคุม โดยเปรียบเทียบในวัสดุกลุ่มเดียวกัน โดยใช้สถิติ paired t-test
- เปรียบเทียบค่า KHN ของแต่ละบริเวณ โดยเทียบกับวัสดุอีกกลุ่ม ใช้สถิติ independent t-test
- คำนวณความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนปีในแต่ละบริเวณ (Δ KHN) ได้แก่ บริเวณคีนกลับแร่ธาตุ-บริเวณควบคุม บริเวณคีนกลับแร่ธาตุ-บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ-บริเวณควบคุม และใช้ Shapiro-Wilk test วิเคราะห์การกระจายตัวของ Δ KHN และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Levene's test โดยค่า Δ KHN ใช้เปรียบเทียบความสามารถของการคีนกลับแร่ธาตุระหว่างวัสดุสองชนิด โดยใช้สถิติ independent t-test

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน (KHN) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนในแต่ละบริเวณ (Δ KHN) มีการกระจายตัวแบบปกติ ($p > 0.05$) ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ระยะทางจาก ขอบวัสดุ (μm)	RMGIC			RMCSG		
	บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสีย	บริเวณคืนกลับ	บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสีย	บริเวณคืนกลับ
		แร่ธาตุ	แร่ธาตุ		แร่ธาตุ	แร่ธาตุ
20	53.63 \pm 5.75 ^{aA}	11.56 \pm 3.37 ^{bB}	15.50 \pm 3.51 ^{cC}	56.04 \pm 7.20 ^{aA}	10.63 \pm 2.31 ^{bB}	12.86 \pm 2.63 ^{cD}
40	56.79 \pm 5.14 ^{aA}	13.93 \pm 4.50 ^{bB}	19.42 \pm 3.88 ^{cC}	57.96 \pm 7.00 ^{aA}	14.19 \pm 3.01 ^{bB}	15.14 \pm 1.87 ^{cD}
60	57.90 \pm 6.25 ^{aA}	15.97 \pm 4.39 ^{bB}	22.03 \pm 4.29 ^{cC}	58.32 \pm 6.75 ^{aA}	17.31 \pm 3.47 ^{bB}	18.83 \pm 3.78 ^{cC}
100	58.64 \pm 7.05 ^{aA}	24.15 \pm 5.02 ^{bB}	28.58 \pm 5.02 ^{cC}	59.92 \pm 8.63 ^{aA}	31.99 \pm 10.46 ^{bE}	33.83 \pm 11.77 ^{cC}
150	59.26 \pm 6.91 ^{aA}	30.46 \pm 4.39 ^{bB}	36.40 \pm 4.17 ^{cC}	60.27 \pm 7.97 ^{aA}	40.69 \pm 10.83 ^{bE}	42.45 \pm 11.29 ^{bC}
200	61.74 \pm 7.08 ^{aA}	35.82 \pm 3.87 ^{bB}	43.68 \pm 6.38 ^{cC}	60.49 \pm 7.94 ^{aA}	46.00 \pm 12.20 ^{bE}	49.26 \pm 13.83 ^{cC}

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูน (KHN) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะต่างๆ ของแต่ละกลุ่มวัสดุ โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กและตัวอักษรพิมพ์ใหญ่บนตัวเลข เป็นการเปรียบเทียบค่า KHN ในวัสดุกลุ่มเดียวกัน และวัสดุต่างชนิดกันตามลำดับ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยเปรียบเทียบภายในแถวเดียวกัน

ระยะทางจาก ขอบวัสดุ (μm)	บริเวณคีนกลีบแร่ธาตุ-บริเวณ สูญเสียแร่ธาตุ		บริเวณคีนกลีบแร่ธาตุ-บริเวณ ควบคุม		บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ-บริเวณ ควบคุม	
	RMGIC	RMSCC	RMGIC	RMSCC	RMGIC	RMSCC
	20	3.94 ± 2.75^a	2.23 ± 1.32^a	-38.14 ± 7.46^a	-43.19 ± 8.06^a	-42.07 ± 6.85^a
40	6.05 ± 3.82^a	0.94 ± 1.49^b	-36.81 ± 8.09^a	-42.83 ± 7.72^a	-42.86 ± 8.17^a	-43.77 ± 8.37^a
60	7.23 ± 5.77^a	1.52 ± 1.94^b	-34.86 ± 9.20^a	-39.49 ± 8.20^a	-42.09 ± 6.93^a	-41.01 ± 8.04^a
100	4.43 ± 3.41^a	1.83 ± 2.80^a	-30.06 ± 7.71^a	-26.09 ± 12.83^a	-34.49 ± 9.35^a	-27.93 ± 12.44^a
150	5.94 ± 4.80^a	1.76 ± 3.12^b	-22.85 ± 6.84^a	-17.82 ± 12.32^a	-28.80 ± 9.31^a	-19.58 ± 12.09^b
200	7.86 ± 5.74^a	3.26 ± 4.13^b	-18.06 ± 9.16^a	-11.23 ± 13.38^a	-25.92 ± 9.87^a	-14.49 ± 11.75^b

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนในแต่ละบริเวณ (ΔKHN) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะต่างๆ ของแต่ละกลุ่มวัสดุ (ตัวอักษรบนตัวเลขที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยเปรียบเทียบภายในแถวเดียวกัน)

จากตารางที่ 2 พบว่าค่า KHN ทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางจากขอบวัสดุเพิ่มขึ้นในทุกๆ บริเวณ เมื่อพิจารณาค่า KHN บริเวณควบคุมทั้งสองกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ ต่อมาพิจารณาค่า KHN บริเวณสูญเสียแร่ธาตุพบว่าที่ระยะทาง 100 150 และ 200 μm พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวัสดุทั้งสองกลุ่ม จากตารางที่ 3 พบว่าค่า ΔKHN ของบริเวณคีนกลีบแร่ธาตุ-บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ ของกลุ่ม RMGIC สูงกว่ากลุ่ม RMSCC ในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ และพบว่าค่า KHN ทั้งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุและบริเวณคีนกลีบแร่ธาตุน้อยกว่าบริเวณควบคุมในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ สังเกตจากค่า ΔKHN ที่ติด

ลบ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

มีวิธีหลากหลายในการประเมินการคืนกลับหรือการสูญเสียแร่ธาตุของโครงสร้างฟัน โดยการวัดค่าความแข็งระดับจุลภาคเป็นวิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยม โดยมีการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณแร่ธาตุที่ตรวจวัดจากวิธีไมโครเรดิโอกราฟแบบสัมผัสกับค่ารากที่สองของความแข็งผิวระดับจุลภาคแบบนูนป จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ทั้งสองวิธีประเมินการสูญเสียหรือคืนกลับแร่ธาตุได้ (48)

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในตารางที่ 2 พบว่าค่า KHN ของบริเวณควบคุมของทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ แสดงให้เห็นว่าก่อนเริ่มทำการทดสอบ สภาพฟันของทั้งสองกลุ่มทดลองมีสภาพใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากฟันที่ใช้ในการศึกษานี้ทุกซี่เป็นฟันกรามใหญ่ที่ถูกถอนออกจากสาเหตุโรคปริทันต์อักเสบ ต่อมาฟันทุกซี่จะผ่านกระบวนการที่ทำให้สูญเสียแร่ธาตุด้วยการจำลองด้วยวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่าง เมื่อพิจารณาค่า KHN ในบริเวณสูญเสียแร่ธาตุพบว่าระยะทาง 100 150 และ 200 μm พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวัสดุทั้งสองกลุ่ม โดยกลุ่ม RMGIC มีค่าน้อยกว่าในทุกๆ ระยะที่กล่าวมา สาเหตุอาจมาจากการเลือกแบบสุ่มในการจัดกลุ่มตัวอย่าง สังเกตจากกลุ่ม RMGIC จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่ากลุ่ม RMCSG อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตผลในตารางที่ 3 พบว่าค่า ΔKHN (บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ-บริเวณควบคุม) ที่ระยะ 100 μm ของวัสดุทั้งสองกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าที่ระยะ 100 μm ฟันของทั้งสองกลุ่มวัสดุมีการสูญเสียแร่ธาตุไม่แตกต่างกัน แต่ค่า ΔKHN ที่ระยะ 150 และ 200 μm มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่ม RMGIC มีการสูญเสียแร่ธาตุไปมากกว่า

กระบวนการจำลองด้วยวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่างคัดลอกมาจากการศึกษาของ Marquezan และคณะ ในการศึกษาดังกล่าวได้วัดค่า KHN ของการจำลองฟันผู้ด้วยวิธีต่างๆ พบว่าวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่างให้ค่า KHN ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด โดยเริ่มมีความแตกต่างของค่า KHN อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 50 μm และเมื่อเปรียบเทียบค่า KHN กับเนื้อฟันธรรมชาติที่ปราศจากรอยผุ (sound dentin) พบว่ากระบวนการจำลองด้วยวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่าง ทำให้เนื้อฟันมีค่า KHN แตกต่างกับเนื้อฟันธรรมชาติที่ปราศจากรอยผุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถึงระยะ 200 μm ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากระบวนการจำลองด้วยวิธีเปลี่ยนสภาวะกรด-ด่างทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุถึงระยะ 200 μm (57) เมื่อเทียบกับผลการศึกษาในตารางที่ 2 พบว่าค่า KHN ของบริเวณควบคุมกับบริเวณสูญเสียแร่ธาตุของวัสดุทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเนื้อฟันมีการสูญเสียแร่ธาตุไปจนถึงระยะ 200 μm จากขอบวัสดุ

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินเป็นวัสดุที่ประสบผลสำเร็จในการคืนกลับแร่ธาตุของเนื้อฟันที่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ โดยเมื่อพิจารณาค่า KHN ของกลุ่ม RMGIC ในตารางที่ 2 พบว่าค่า KHN บริเวณคืนกลับแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าบริเวณสูญเสียแร่ธาตุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ ซึ่งมีการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าบริเวณเนื้อฟันที่สัมผัสกับวัสดุมีความแข็งเพิ่มขึ้น (30, 55, 58) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการปลดปล่อยไอออน ได้แก่ ฟลูออไรด์ไอออน โซเดียมไอออน ซิลิโคนไอออน โซเดียมไอออน แคลเซียมไอออน สทรอนเทียมไอออน และอลูมิเนียมไอออน (60) โดยมีการศึกษาพบว่ามีแร่ธาตุฟลูออไรด์ในเนื้อฟันส่วนที่ติดกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้งชนิดดั้งเดิมและชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (61, 62) ฟลูออไรด์มีฤทธิ์ในการคืนกลับแร่ธาตุในเนื้อฟันที่ผุหรือมีการสูญเสียแร่ธาตุหรือเนื้อฟันผุ (28, 63) กล่าวคือ ในเนื้อฟันจะประกอบไปด้วยผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (calcium hydroxy apatite) ซึ่งมีสูตรเคมีคือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ และผลึกคาร์บอเนตอะพาไทต์ (carbonate apatite) ซึ่งมีสูตรเคมีคือ $(\text{Ca}, \text{Na}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Sr}^{2+} \text{ หรือ ไอออนประจุบวกอื่นๆ})_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3, \text{HPO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$ โดยผลึกคาร์บอเนตอะพาไทต์จะมีการละลายตัวสูงกว่าผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (64) เมื่อเนื้อฟันมีการสูญเสียแร่ธาตุ

ฟลูออไรด์ไอออนจะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่ง hydroxyl group โดยมีสูตรเคมีคือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ เรียกว่าฟลูออราอะพาไทต์ (fluorapatite) หรืออาจมีสูตรเคมี $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_x\text{F}_y$ เรียกว่าฟลูออไฮดรอกซีฟลูออราอะพาไทต์ (hydroxyfluorapatite) ซึ่งผลึกทั้งสองชนิดมีการละลายตัวที่ต่ำกว่าผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (65)

ส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินมีฟลูออไรด์ไอออนเป็นส่วนประกอบ เมื่อผสมส่วนผงกับส่วนเหลวเข้าด้วยกัน กรดโพลีอะคริลิกในส่วนเหลวจะทำปฏิกิริยากับอนุภาคแก้ว แล้วเกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนและอลูมิเนียมไอออน ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมสายโมเลกุลของกรดโพลีอะคริลิก ส่วนฟลูออไรด์ไอออนซึ่งไม่ได้ทำหน้าที่เชื่อมสายโมเลกุล จึงสามารถถูกปลดปล่อยออกจากสิ่งแวดล้อมได้ (66) ในการศึกษานี้ได้ใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินแบบบูรณะ (restorative type) ซึ่งมีความข้นหนืดมากกว่าชนิดรองพื้น (base type) มีการศึกษาพบว่าวัสดุชนิดรองพื้นมีการไหลแผ่ได้มากกว่า ทำให้เกิดการแนบกับโพรงฟันมากกว่า (67) อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาเปรียบเทียบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Vitrebond[®] (3M ESPE, USA) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดรองพื้นกับผลิตภัณฑ์ GC Fuji II LC[®] Capsule (GC Corp., Japan) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดบูรณะ พบว่าผลิตภัณฑ์ Vitrebond[®] มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้แต่งให้เหตุผลว่าวัสดุทั้งสองผลิตภัณฑ์มีวิธีการผสมที่แตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ Vitrebond[®] เป็นวัสดุที่ต้องผสมด้วยมือ (hand-mixed material) ซึ่งอาจทำให้วัสดุมีการละลายตัวสูงกว่า จึงมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์มากกว่า (68) มีการศึกษาพบว่าอัตราส่วนส่วนผง:ส่วนเหลว (powder/liquid ratio) ที่น้อยกว่าจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่า เนื่องจากวัสดุมีการดูดน้ำและการละลายตัวสูงขึ้น (69, 70) ดังนั้นหากใช้กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินแบบผสมด้วยมือ อาจให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไป อย่างไรก็ตาม

การศึกษานี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคืนกลับระหว่างวัสดุสองชนิด อัตราส่วนระหว่าง ส่วนผงและส่วนน้ำที่เที่ยงตรงเป็นเรื่องที่ผู้ทดลองให้ความสำคัญมากกว่า

แคลเซียมซิติเลตชนิดดัดแปลงด้วยเรซินเป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาจากแคลเซียมซิติเลตแบบ ดั้งเดิม เพื่อให้สามารถบ่มตัวได้ด้วยการฉายแสง (16) โดยวัสดุกลุ่มนี้ไม่มีน้ำอยู่ในส่วนประกอบของ วัสดุ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงแนะนำให้วางวัสดุไว้บนเนื้อฟันที่มีความชื้นเพื่อให้ น้ำจากเนื้อฟันทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและเกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออน (16, 39, 41) ในการศึกษาพบว่าค่า ΔKHN (คืนกลับแร่ธาตุ-สูญเสียแร่ธาตุ) มีค่าเป็นบวกในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุ อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า ΔKHN (คืนกลับแร่ธาตุ-สูญเสียแร่ธาตุ) ของกลุ่ม RMCSC มีค่าน้อยกว่ากลุ่ม RMGIC แสดง ให้เห็นว่ากลุ่ม RMGIC มีความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุมากกว่า เมื่อพิจารณาตารางที่ 2 พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า KHN ระหว่างบริเวณสูญเสียแร่ธาตุและบริเวณคืน กลับแร่ธาตุในทุกๆ ระยะทางจากขอบวัสดุทั้งสองกลุ่ม ยกเว้นกลุ่ม RMCSC ที่ระยะ 150 μm ซึ่งบ่งชี้ ว่าวัสดุทั้งสองกลุ่มมีความลึกของการเกิดการคืนกลับแร่ธาตุอย่างน้อยถึงระยะ 200 μm

วัสดุทั้งสองกลุ่มมีกลไกการคืนกลับแร่ธาตุด้วยการปลดปล่อยไอออน ดังนั้นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผล ต่อความสามารถในการปลดปล่อยไอออนของวัสดุคือ ส่วนประกอบของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยวัสดุ กลุ่ม RMGIC ประกอบด้วยฮีมา (2-hydroxyethyl methacrylate; 2-HEMA) ซึ่งเป็นเรซินที่มี คุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic resin) ร้อยละ 35 โดยมวล ในขณะที่ วัสดุ กลุ่ม RMCSC ประกอบด้วยเรซินร้อยละ 43 โดยมวล (38) ซึ่งเรซินเมื่อพิจารณาสัดส่วนพอร์ทแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งเป็น ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้วปลดปล่อยแคลเซียมไอออนในวัสดุกลุ่ม RMCSC พบว่ามีปริมาณร้อยละ 30-50 (71) สัดส่วนของเรซินที่มากอาจเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนที่ของไอออนสู่สิ่งแวดล้อม (41) นอกจากนี้วัสดุกลุ่ม RMGIC ยังมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนในลักษณะ burst effect คือ

ปลดปล่อยไอออนมากในเวลา 24-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง (72) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ได้เปรียบของวัสดุกลุ่ม RMGIC

การศึกษานี้เป็นการทดลองในสภาวะที่มีน้ำล้อมรอบวัสดุ ซึ่งต่างจากสภาพจริงในช่องปาก ซึ่งเป็นพื้นที่ปิด การมีน้ำล้อมรอบวัสดุตลอดเวลาส่งผลให้วัสดุเกิดการละลายตัวและมีการปลดปล่อยไอออนมากขึ้น (73) ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองนี้ ทำได้เพียงบอกแนวโน้มว่าวัสดุชนิดใดมีแนวโน้มในการคืนกลับแร่ธาตุมากกว่ากันเท่านั้น

จากข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่าวัสดุทั้งสองกลุ่มไม่สามารถทำให้ค่าความแข็งระดับจุลภาคของบริเวณคืนกลับแร่ธาตุเทียบเท่ากับบริเวณควบคุมได้ในทุกๆ ระยะจากขอบวัสดุ ซึ่งการศึกษานี้เปรียบเทียบความสามารถในการคืนกลับแร่ธาตุของวัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนกับแคลเซียมไอออน หากใช้วัสดุทั้งสองกลุ่มร่วมกันในการคืนกลับแร่ธาตุอาจมีประสิทธิภาพในการคืนกลับแร่ธาตุเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาต่อไปในอนาคต

สรุปผลการทดลอง

ด้วยข้อจำกัดของการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ว่าวัสดุกลุ่ม RMGIC มีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพในการคืนกลับแร่ธาตุมากกว่าวัสดุกลุ่ม RMGIC



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	โชษิตา ธีระเกษมสุข
วัน เดือน ปี เกิด	9 พฤศจิกายน 2533
สถานที่เกิด	ชลบุรี
วุฒิการศึกษา	ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. Ritter AV, Boushell LW, Walter R. Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry. 7, editor: Elsevier Mosby; 2018.
2. Chan KH, Mai Y, Kim H, Tong KC, Ng D, Hsiao JC. Review: Resin Composite Filling. *Materials*. 2010;3(2):1228-43.
3. Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I. Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci*. 2012;120(6):539-48.
4. Opdam NJ, van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*. 2014;93(10):943-9.
5. Astvaldsdottir A, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranaeus S, et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults - A systematic review. *J Dent*. 2015;43(8):934-54.
6. Nedeljkovic I, Teughels W, De Munck J, Van Meerbeek B, Van Landuyt K. Is secondary caries with composites a material-based problem? *Dent Mater*. 2015;31(11):e247-e77.
7. Al-Abdi A, Paris S, Schwendicke F. Glass hybrid, but not calcium hydroxide, remineralized artificial residual caries lesions in vitro. *Clin Oral Investig*. 2017;21(1):389-96.
8. Hicks J, Garcia-Godoy F, Donly K, Flaitz C. Fluoride-releasing restorative materials and secondary caries. *J Calif Dent Assoc*. 2003;31(3):229-45.
9. Arandi NZ. Calcium hydroxide liners: a literature review. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2017;9:67-72.
10. Sangwan P, Sangwan A, Duhan J, Rohilla A. Tertiary dentinogenesis with calcium hydroxide: a review of proposed mechanisms. *Int Endod J*. 2013;46(1):3-19.
11. Rizzante FAP, Cunali RS, Bombonatti JFS, Correr GM, Gonzaga CC, Furuse AY. Indications and restorative techniques for glass ionomer cement. *Rev Bras Odontol*. 2015;12(1):79-87.

12. Munari LS, Antunes ANG, Monteiro DDH, Moreira AN, Alvim HH, Magalhães CS. Microtensile bond strength of composite resin and glass ionomer cement with total-etching or self-etching universal adhesive. *Int J Adhes Adhes*. 2018;82:36-40.
13. Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J Funct Biomater*. 2016;7(3).
14. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater*. 2015;31(4):351-70.
15. Odabas ME, Bani M, Tirali RE. Shear bond strengths of different adhesive systems to biodentine. *ScientificWorldJournal*. 2013;2013:626103.
16. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J*. 2012;45(6):571-9.
17. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials*. 1998;19(6):485-94.
18. *Craig's Restorative Dental Materials*. 13 ed. Sakaguchi R, Powers J, editors: Elsevier Mosby; 2012.
19. Zahra VN, Kohen SG, Macchi RL. Powder-liquid ratio and properties of two restorative glass ionomer cements. *Acta Odontol Latinoam*. 2011;24(2):200-4.
20. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater*. 2000;16(2):129-38.
21. Momoi Y, McCabe JF. Fluoride release from light-activated glass ionomer restorative cements. *Dent Mater*. 1993;9(3):151-4.
22. Lin A, McIntyre NS, Davidson RD. Studies on the adhesion of glass-ionomer cements to dentin. *J Dent Res*. 1992;71(11):1836-41.
23. Cardoso MV, Delmé KIM, Mine A, Neves AdA, Coutinho E, De Moor RJG, et al. Towards a better understanding of the adhesion mechanism of resin-modified glass-ionomers by bonding to differently prepared dentin. *J Dent*. 2010;38(11):921-9.
24. Knight GM, McIntyre JM, Craig GG, Mulyani. Electron probe microanalysis of ion exchange of selected elements between dentine and adhesive restorative materials. *Aust Dent J*. 2007;52(2):128-32.

25. Tanumiharja M, Burrow MF, Cimmino A, MJ T. The evaluation of four conditioners for glass ionomer cements using field-emission scanning electron microscopy. *J Dent.* 2001;29(2):131-8.
26. Hamama HH, Burrow MF, Yiu C. Effect of dentine conditioning on adhesion of resinmodified glass ionomer adhesives. *Aust Dent J.* 2014;59(2):193-200.
27. Buzalaf M, Pessan JP, Honório HM, ten Cate JM. Mechanisms of Action of Fluoride for Caries Control. *Monographs in Oral Science.* 2011;22:97-114.
28. Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *J Dent.* 2006;34(8):608-13.
29. Pereira PN, Inokoshi S, Tagami J. In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *J Dent.* 1998;26(5-6):505-10.
30. Pereira PN, Inokoshi S, Yamada T, Tagami J. Microhardness of in vitro caries inhibition zone adjacent to conventional and resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater.* 1998;14(3):179-85.
31. Maneenut C, Nikaido T, Foxton RM, Tagami J. Effect of glass ionomer on nanohardness of caries-affected dentin. *Int Chin J Dent.* 2003;3:122-30.
32. Neelakantan P, John S, Anand S, Sureshbabu N, Subbarao C. Fluoride release from a new glass-ionomer cement. *Oper Dent.* 2011;36(1):80-5.
33. Macwan C, Deshpande A. Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry: A review of literature. *J Oral Res Rev.* 2014;6(2):71-4.
34. Bakland LK, Andreasen JO. Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol.* 2012;28(1):25-32.
35. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(7):349-53.
36. Kaur M, Singh H, Dhillon JS, Batra M, Saini M. MTA versus Biodentine: Review of Literature with a Comparative Analysis. *J Clin Diagn Res.* 2017;11(8):ZG01-ZG5.
37. Bachoo IK, Seymour D, Brunton P. A biocompatible and bioactive replacement for dentine: is this a reality? The properties and uses of a novel calcium-based cement. *Br Dent J.* 2013;214(2):E5.

38. About I. Recent Trends in Tricalcium Silicates for Vital Pulp Therapy. *Curr Oral Health Rep.* 2018;5(3):178-85.
39. Camilleri J, Laurent P, About I. Hydration of Biodentine, Theracal LC, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *J Endod.* 2014;40(11):1846-54.
40. Camilleri J. Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp capping materials. *Dent Mater.* 2014;30(7):709-15.
41. Yamamoto S, Han L, Noiri Y, Okiji T. Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J.* 2017;50 Suppl 2:e73-e82.
42. Li X, De Munck J, Van Landuyt K, Pedano M, Chen Z, Van Meerbeek B. How effectively do hydraulic calcium-silicate cements re-mineralize demineralized dentin. *Dent Mater.* 2017;33(4):434-45.
43. Karadas M, Cantekin K, Gumus H, Ates SM, Duymus ZY. Evaluation of the bond strength of different adhesive agents to a resin-modified calcium silicate material (TheraCal LC). *Scanning.* 2016;38(5):403-11.
44. Deepa VL, Dhamaraju B, Bollu IP, Balaji TS. Shear bond strength evaluation of resin composite bonded to three different liners: TheraCal LC, Biodentine, and resin-modified glass ionomer cement using universal adhesive: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2016;19(2):166-70.
45. Alzraikat H, Taha NA, Qasrawi D, MF B. Shear bond strength of a novel light cured calcium silicate based-cement to resin composite using different adhesive systems. *Dent Mater J.* 2016;35(6):881-7.
46. Cantekin K. Bond strength of different restorative materials to light-curable mineral trioxide aggregate. *J Clin Pediatr Dent.* 2015;39(2):143-8.
47. Schmuck BD, Carey CM. Improved Contact X-Ray Microradiographic Method to Measure Mineral Density of Hard Dental Tissues. *J Res Natl Inst Stand Technol.* 2010;115(2):75-83.
48. Featherstone JD, ten Cate JM, Shariati M, Arends J. Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res.* 1983;17(5):385-91.

49. Lo EC, Zhi QH, Itthagarun A. Comparing two quantitative methods for studying remineralization of artificial caries. *J Dent.* 2010;38(4):352-9.
50. Lippert F, Lynch RJ. Comparison of Knoop and Vickers surface microhardness and transverse microradiography for the study of early caries lesion formation in human and bovine enamel. *Arch Oral Biol.* 2014;59(7):704-10.
51. Phillips' Science of Dental Materials. 12 ed. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR, editors: Elsevier; 2013.
52. Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *J Biomed Mater Res A.* 2003;66(4):850-3.
53. Lussi A. Dental erosion: from diagnosis to therapy: Karger Medical and Scientific Publishers; 2006.
54. Kielbassa AM, Wrbas KT, Schulte-Monting J, Hellwig E. Correlation of transversal microradiography and microhardness on in situ-induced demineralization in irradiated and nonirradiated human dental enamel. *Arch Oral Biol.* 1999;44(3):243-51.
55. Dias GF, Chibinski ACR, Santos FAd, Hass V, Alves FBT, Wambier DS. The hardness and chemical changes in demineralized primary dentin treated by fluoride and glass ionomer cement. *Rev Odontol UNESP.* 2016;45(1):33-40.
56. Aydin B, Pamir T, Baltaci A, Orman MN, Turk T. Effect of storage solutions on microhardness of crown enamel and dentin. *Eur J Dent.* 2015;9(2):262-6.
57. Marquezan M, Correa FN, Sanabe ME, Rodrigues Filho LE, Hebling J, Guedes-Pinto AC, et al. Artificial methods of dentine caries induction: A hardness and morphological comparative study. *Arch Oral Biol.* 2009;54(12):1111-7.
58. Hotta M, Li Y, Sekine I. Mineralization in bovine dentin adjacent to glass-ionomer restorations. *J Dent.* 2001;29(3):211-5.
59. Chuenarrom C, Benjakul P, Daosodsai P. Effect of indentation load and time on Knoop and Vickers microhardness tests for enamel and dentin. *Mat Res.* 2009;12(4):473-6.
60. Forss H. Release of fluoride and other elements from light-cured glass ionomers in neutral and acidic conditions. *J Dent Res.* 1993;72(8):1257-62.

61. Nagamine M, Itota T, Torii Y, Irie M, Staninec M, Inoue K. Effect of resin-modified glass ionomer cements on secondary caries. *Am J Dent*. 1997;10(4):173-8.
62. Mukai M, Ikeda M, Yanagihara T, Hara G, Kato K, Nakagaki H, et al. Fluoride uptake in human dentine from glass-ionomer cement in vivo. *Arch Oral Biol*. 1993;38(12):1093-8.
63. Talwar M, Borzabadi-Farahani A, Lynch E, Borsboom P, Ruben J. Remineralization of Demineralized Enamel and Dentine Using 3 Dentifrices—An InVitro Study. *Dent J (Basel)*. 2019;7(3):91.
64. LeGeros RZ. Chemical and crystallographic events in the caries process. *J Dent Res*. 1990;69 Spec No:567-74; discussion 634-6.
65. Pajor K, Pajchel L, Kolmas J. Hydroxyapatite and Fluorapatite in Conservative Dentistry and Oral Implantology—A Review. *Materials (Basel)*. 2019;12(17):1-16.
66. Najeeb S, Khurshid Z, Zafar MS, Khan AS, Zohaib S, Marti JM, et al. Modifications in Glass Ionomer Cements: Nano-Sized Fillers and Bioactive Nanoceramics. *Int J Mol Sci*. 2016;17(7).
67. Bonifácio CC, Amerongen WEv, Meschini TG, Raggio DP, Bönecker M. Flowable glass ionomer cement as a liner: Improving marginal adaptation of atraumatic restorative treatment restorations. *J Dent Child (Chic)*. 2010;77(1):12-6.
68. Creanor SL, Carruthers LM, Saunders WP, Strang R, Foye RH. Fluoride Uptake and Release Characteristics of Glass Ionomer Cements. *Caries Res*. 1994;28(5):322-8.
69. Prapansilp W, Rirattanapong P, Surarit R, Vongsavan K. Fluoride Release from Different Powder Liquid Ratios of Fuji VII. *M Dent J* 2017;37(2):217-22.
70. Torabzadeh H, Ghassemi A, Janani A, Raoofinejad F, Naderi H, Bagheban AA. Effect of Powder/Liquid Ratio on Fluoride Release of Glass Ionomers. *Beheshti Univ Dent J* 2015;32(4):279-86.
71. "TheraCal LC safety data sheet". 2016;77:pp.1-7.
72. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials*. 2003;24(14):2451-61.
73. Francois P, Fouquet V, Attal JP, Dursun E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials (Basel)*. 2020;13(10).



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางแสดงค่าความแข็งผิวคุณภาพแบบบู่ที่วัดได้และค่าเฉลี่ยของบริเวณควบคุม บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ และบริเวณคืนกลับแร่ธาตุของฟันที่ใช้ใน

การศึกษาของกลุ่ม RMGIC

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทาง จากขอบ วัสดุ (µm)	ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ ควบคุม		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ สูญเสียแร่ ธาตุ		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ สูญเสียแร่ ธาตุ		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ คืนกลับ แร่ธาตุ					
		ค่าความแข็งบริเวณควบคุม	ค่าความแข็งบริเวณควบคุม	ค่าความแข็งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ	ค่าความแข็งบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ	ค่าความแข็งบริเวณคืนกลับแร่ธาตุ	ค่าความแข็งบริเวณคืนกลับแร่ธาตุ						
1	20	57.97	49.94	57.13	55.01	5.95	5.78	5.99	5.91	13.21	12.15	11.37	12.24
	40	61.86	58.69	60.47	60.34	6.06	6.92	6.50	6.49	19.16	15.62	19.71	18.16
	60	60.62	54.05	50.4	55.02	12.47	7.23	7.71	9.14	19.08	18.89	25.89	21.29
	100	68.66	53.54	63.95	62.05	17.28	17.29	18.52	17.70	35.79	25.10	28.65	29.85
	150	65.98	60.02	61.71	62.57	17.16	32.10	20.38	23.21	41.94	34.06	32.15	36.05
	200	63.3	72.08	66.86	67.41	33.43	33.89	30.84	32.72	47.00	35.04	50.98	44.34

2	20	54.57	54.57	54.18	54.44	10.15	8.71	12.47	10.44	15.12	17.83	16.27	16.41
	40	56.99	53.42	58.12	56.18	17.73	15.42	15.56	16.24	20.73	24.84	17.73	21.10
	60	56.16	59.57	54.31	56.68	23.56	21.17	20.08	21.60	25.32	26.33	29.05	26.90
	100	55.89	54.44	54.18	54.84	28.35	26.02	24.54	26.30	32.93	31.40	31.25	31.86
	150	55.63	52.42	50.4	52.82	32.21	36.21	32.10	33.51	36.49	38.49	38.19	37.72
	200	58.84	58.4	55.23	57.49	34.58	35.93	37.42	35.98	47.85	46.90	42.53	45.76
3	20	42.74	43.47	44.51	43.57	15.42	12.14	14.11	13.89	16.63	13.99	20.32	16.98
	40	47.95	47.63	47.74	47.77	19.54	18.71	20.53	19.59	23.23	19.46	19.19	20.63
	60	47.11	49.94	45.29	47.45	16.28	23.23	22.66	20.72	19.85	20.80	26.81	22.49
	100	47.86	48.28	46.08	47.41	25.81	23.63	21.19	23.54	24.08	27.03	26.59	25.90
	150	49.6	40.74	48.17	46.17	29.00	26.99	36.78	30.92	28.70	28.16	33.36	30.07
	200	51.7	45.68	50.87	49.42	33.24	35.93	35.31	34.83	36.35	34.64	33.61	34.87

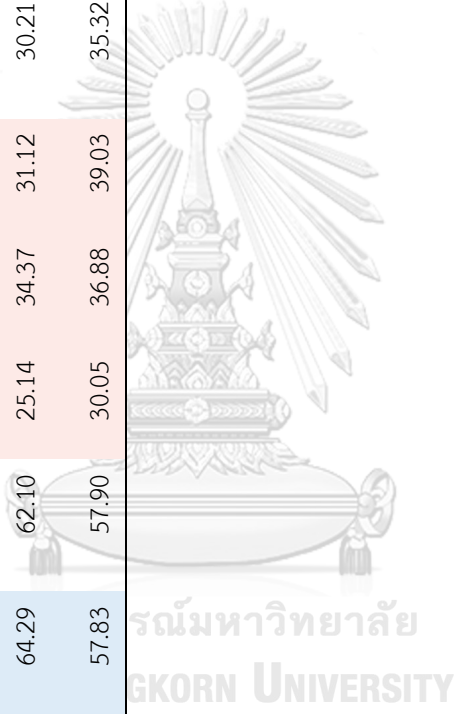
4	20	53.54	57.13	42.47	51.05	9.85	10.46	11.22	10.51	12.27	11.61	13.12	12.33
	40	57.83	58.98	55.63	57.48	12.59	15.27	13.24	13.70	17.90	16.35	16.05	16.77
	60	55.63	52.42	59.42	55.82	16.24	23.45	19.49	19.73	24.51	17.42	15.45	19.13
	100	59.87	60.02	52.55	57.48	30.57	38.26	32.93	33.92	31.98	33.49	39.51	34.99
	150	52.55	53.93	52.42	52.97	32.69	34.06	35.58	34.11	40.91	40.08	42.74	41.24
	200	57.83	52.18	57.97	55.99	40.91	42.56	47.85	43.77	45.48	51.94	56.44	51.29
5	20	51.34	50.29	51.34	50.99	19.77	19.85	18.14	19.25	22.34	19.00	18.24	19.86
	40	48.93	54.31	49.04	50.76	20.47	23.85	24.58	22.97	29.30	28.65	27.49	28.48
	60	56.99	58.4	56.85	57.41	15.66	19.40	19.00	18.02	28.94	33.49	34.78	32.40
	100	56.03	51.22	45.09	50.78	31.35	26.24	26.02	27.87	32.27	33.06	25.98	30.44
	150	58.98	47.95	49.16	52.03	34.32	32.63	36.56	34.50	32.75	41.34	42.47	38.85
	200	53.29	52.67	52.55	52.84	46.08	40.49	40.08	42.22	48.60	44.51	45.88	46.33

6	20	66.63	53.67	55.76	58.69	9.22	10.46	13.51	11.06	9.92	12.04	12.89	11.62
	40	60.02	55.23	57.83	57.69	11.71	13.24	15.04	13.33	12.72	15.56	14.53	14.27
	60	60.02	68.29	55.76	61.36	13.58	11.40	14.42	13.13	19.74	16.03	18.78	18.18
	100	66.16	62.18	61.86	63.40	22.98	21.75	29.45	24.73	28.40	30.14	31.12	29.89
	150	68.66	60.32	61.08	63.35	33.36	36.35	31.80	33.84	37.21	32.75	36.92	35.63
	200	62.81	62.49	64.29	63.20	38.18	32.27	37.96	36.14	44.41	35.65	46.18	42.08
7	20	55.49	57.41	52.06	54.99	11.35	12.27	13.66	12.43	16.20	15.08	16.63	15.97
	40	55.09	55.09	54.83	55.00	12.03	13.86	11.42	12.44	22.97	24.00	24.23	23.73
	60	58.12	54.7	51.82	54.88	12.40	12.16	10.02	11.53	19.85	19.60	17.19	18.88
	100	56.85	55.23	56.99	56.36	19.77	14.84	15.12	16.58	16.94	19.88	16.45	17.76
	150	59.72	59.13	62.18	60.34	20.83	21.59	24.12	22.18	27.08	29.92	28.47	28.49
	200	71.49	70.72	68.66	70.29	27.82	33.18	28.94	29.98	33.87	35.86	35.31	35.01

8	20	50.93	50.62	53.39	51.65	12.29	16.35	12.14	13.59	24.31	23.63	22.80	23.58
	40	59.4	60.72	57.75	59.29	13.64	18.64	12.15	14.81	18.58	20.21	20.41	19.73
	60	65.35	65.99	62.48	64.61	17.40	14.44	13.87	15.24	20.44	17.07	21.01	19.51
	100	66.99	64.72	65.86	65.86	20.71	24.78	21.30	22.26	27.13	29.35	34.38	30.29
	150	68.84	66.42	67.29	67.52	25.51	28.40	25.60	26.50	38.41	41.85	45.98	42.08
	200	69.3	70.82	72.59	70.90	34.12	45.48	30.79	36.80	51.82	45.68	51.70	49.73
9	20	65.47	67.57	66.86	66.63	14.71	12.70	12.27	13.23	12.43	15.62	15.85	14.63
	40	69.77	67.75	65.81	67.78	16.37	14.56	12.66	14.53	17.96	19.03	17.88	18.29
	60	75.77	72.88	69.58	72.74	22.42	21.65	20.14	21.40	21.17	22.52	23.82	22.50
	100	72.28	74.72	71.69	72.90	22.94	25.98	26.68	25.20	32.33	32.15	30.35	31.61
	150	70.91	68.11	69.21	69.41	33.74	28.60	30.30	30.88	40.74	37.36	44.03	40.71
	200	66.33	70.72	66.5	67.85	34.06	31.15	32.37	32.53	54.70	57.13	49.94	53.92

10	20	50.29	49.16	48.75	49.40	11.92	8.30	9.22	9.81	14.78	18.56	12.32	15.22
	40	53.79	53.04	55.57	54.13	13.28	14.46	11.78	13.17	21.11	20.34	17.65	19.70
	60	55.13	54.18	56.25	55.19	20.83	15.82	14.56	17.07	25.65	24.76	22.45	24.29
	100	55.21	55.63	55.24	55.36	32.10	31.40	26.76	30.09	33.78	34.65	31.98	33.47
	150	61.86	63.95	62.78	62.86	35.87	35.87	34.33	35.36	34.38	36.28	38.80	36.49
	200	66.33	68.42	65.65	66.80	32.75	35.93	32.81	33.83	36.00	33.71	34.67	34.79
11	20	59.72	57.13	55.09	57.31	10.66	11.16	10.83	10.88	13.77	17.21	13.92	14.97
	40	59.57	60.17	62.49	60.74	12.64	11.10	13.18	12.31	20.00	16.50	14.78	17.09
	60	59.57	57.69	59.72	58.99	12.82	12.16	14.64	13.21	23.97	15.31	26.15	21.81
	100	61.71	64.62	62.65	62.99	20.14	22.56	17.37	20.02	22.32	24.62	28.70	25.21
	150	56.3	57.97	62.65	58.97	30.08	32.93	27.97	30.33	29.66	37.66	35.86	34.39
	200	64.79	58.84	58.84	60.82	32.93	37.14	37.29	35.79	42.03	49.49	40.16	43.89

20	51.1	48.39	50.17	49.89	7.37	8.83	7.00	7.73	14.20	10.71	11.57	12.16
40	49.83	56.03	56.99	54.28	6.39	7.14	9.15	7.56	18.17	11.78	15.37	15.11
60	51.22	59.98	52.67	54.62	8.71	9.85	14.09	10.88	17.26	14.72	19.10	17.03
100	52.18	56.03	54.7	54.30	23.55	22.18	19.16	21.63	20.16	25.86	19.19	21.74
150	60.78	61.24	64.29	62.10	25.14	34.37	31.12	30.21	39.03	36.07	30.35	35.15
200	56.44	59.42	57.83	57.90	30.05	36.88	39.03	35.32	42.03	44.41	40.08	42.17



ตารางแสดงค่าความแข็งผิวจุลภาคแบบบูบที่วัดได้และค่าเฉลี่ยของบริเวณควบคุม บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ และบริเวณคืนกลับแร่ธาตุของฟันที่ใช้ใน

การศึกษากลุ่ม RMCSC

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทาง จากขอบ วัสดุ (μm)	ค่าความแข็งบริเวณควบคุม		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ ควบคุม	ค่าความแข็งบริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ สูญเสียแร่ ธาตุ		ค่าความแข็งบริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ		ค่าเฉลี่ย ความแข็ง บริเวณ คืนกลับ แร่ธาตุ		
		ค่าความแข็ง	ควบคุม		ค่าความแข็ง	สูญเสียแร่ ธาตุ	ค่าเฉลี่ย	สูญเสียแร่ ธาตุ	ค่าเฉลี่ย	คืนกลับ แร่ธาตุ			
1	20	66.5	62.49	57.13	62.04	8.42	6.28	9.35	8.02	12.14	11.42	11.21	11.59
	40	65.3	60.93	58.84	61.69	10.50	10.87	10.88	10.75	13.06	13.48	13.58	13.37
	60	59.87	58.84	68.84	62.52	14.93	17.54	14.53	15.67	17.97	16.82	17.23	17.34
	100	62.65	65.47	62.49	63.54	32.63	32.93	35.24	33.60	33.99	31.63	32.57	32.73
	150	61.24	64.79	60.62	62.22	43.29	40.91	43.11	42.44	51.70	50.87	51.34	51.30
	200	61.39	61.86	70.91	64.72	46.28	45.28	50.75	47.44	62.98	56.99	56.63	58.87

2	20	46.9	45.09	47.53	46.51	12.98	13.12	11.70	12.60	12.85	14.62	13.20	13.56
	40	50.29	49.27	43.66	47.74	13.58	16.43	13.68	14.56	15.64	12.56	19.49	15.90
	60	47.53	47.21	46.08	46.94	20.11	21.72	16.47	19.43	21.06	20.84	22.70	21.53
	100	49.16	45.48	46.49	47.04	41.85	47.21	47.21	45.42	40.83	42.48	45.88	43.06
	150	53.42	45.09	42.12	46.88	49.16	48.17	54.44	50.59	46.28	52.55	46.18	48.34
	200	49.53	47.42	42.47	46.47	53.67	43.85	53.80	50.44	47.53	54.55	51.94	51.34
3	20	66.68	60.93	69.21	65.61	6.66	8.90	8.30	7.95	10.79	8.59	10.00	9.79
	40	72.48	66.16	65.98	68.21	13.51	11.60	13.26	12.79	14.33	12.07	11.59	12.66
	60	67.57	65.3	73.08	68.65	17.82	16.11	15.56	16.50	23.30	15.76	17.75	18.94
	100	61.71	68.29	64.62	64.87	40.00	48.60	42.17	43.59	55.76	48.47	47.95	50.73
	150	65.13	64.79	69.21	66.38	59.28	52.79	52.42	54.83	59.57	62.34	57.84	59.92
	200	75.99	70.33	67.03	71.12	58.12	62.81	54.57	58.50	60.78	64.79	62.81	62.79

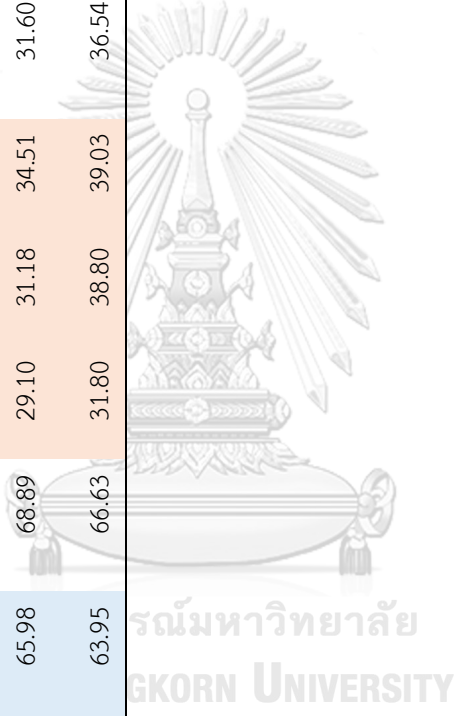
4	20	61.39	56.85	62.49	60.24	10.54	8.96	10.22	9.91	10.71	10.82	11.00	10.84
	40	61.24	64.45	59.57	61.75	12.83	13.87	13.32	13.34	13.71	16.82	13.00	14.51
	60	61.24	63.46	62.18	62.29	19.54	18.63	17.51	18.56	18.81	21.14	18.60	19.52
	100	60.62	59.57	62.02	60.74	24.62	25.51	29.77	26.63	26.51	25.45	28.21	26.72
	150	60.62	71.31	54.18	62.04	31.86	31.29	34.38	32.51	33.12	34.23	30.57	32.64
	200	59.13	61.24	60.47	60.28	35.31	35.86	36.35	35.84	36.48	33.47	39.57	36.51
5	20	47.95	55.49	47.63	50.36	11.20	10.47	11.25	10.97	11.66	11.58	10.52	11.25
	40	50.98	56.99	53.88	53.95	15.66	12.30	12.43	13.46	14.11	14.26	13.43	13.93
	60	52.79	55.36	52.18	53.44	17.16	16.74	20.44	18.11	17.73	14.26	14.40	15.46
	100	42.3	48.93	52.3	47.84	33.43	30.95	35.86	33.41	37.88	35.86	40.02	37.92
	150	47.85	48.39	49.83	48.69	45.19	45.78	40.24	43.74	45.88	47.32	48.17	47.12
	200	43.66	54.7	48.28	48.88	45.38	45.09	50.29	46.92	49.83	53.29	54.05	52.39

6	20	48.28	48.6	56.99	51.29	14.55	11.61	5.44	10.53	12.60	12.19	15.93	13.57
	40	51.1	46.9	53.93	50.64	14.04	11.32	11.18	12.18	14.13	15.42	12.91	14.15
	60	54.96	50.98	50.63	52.19	15.87	12.44	9.09	12.47	16.01	17.84	15.30	16.38
	100	49.72	50.63	48.93	49.76	16.58	13.48	13.72	14.59	16.69	16.57	12.67	15.31
	150	48.6	51.22	54.83	51.55	17.16	15.31	12.63	15.03	15.23	16.03	19.28	16.85
	200	48.17	52.55	53.17	51.30	15.64	15.41	15.12	15.39	16.57	16.16	17.41	16.71
7	20	58.12	57.97	50.06	55.38	11.66	11.99	12.18	11.94	14.02	14.01	18.78	15.60
	40	54.83	55.49	57.97	56.10	14.08	23.87	18.52	18.82	15.77	17.47	19.51	17.58
	60	52.55	55.76	57.13	55.15	20.99	19.73	23.86	21.53	17.92	22.66	22.87	21.15
	100	57.27	62.18	65.64	61.70	35.74	30.88	35.06	33.89	34.32	35.31	37.96	35.86
	150	67.03	57.55	65.98	63.52	44.13	57.55	42.92	48.20	50.52	44.70	46.39	47.20
	200	55.63	51.82	63.63	57.03	48.82	51.34	62.65	54.27	56.16	60.32	62.98	59.82

8	20	47.1	54.18	52.18	51.15	16.63	15.95	11.59	14.72	19.05	15.41	20.74	18.40
	40	52.96	50.06	56.03	53.02	14.16	17.19	13.20	14.85	17.73	13.12	15.68	15.51
	60	52.96	51.46	54.83	53.08	14.35	15.45	12.83	14.21	16.99	17.59	14.18	16.25
	100	58.69	59.72	56.3	58.24	28.55	24.08	24.31	25.65	24.32	26.18	24.89	25.13
	150	57.97	59.13	53.8	56.97	39.75	32.63	34.45	35.61	39.60	37.11	31.94	36.22
	200	61.71	62.18	63.46	62.45	50.98	48.28	45.58	48.28	52.79	54.44	49.38	52.20
9	20	69.96	72.85	63.14	68.65	13.84	13.11	12.67	13.21	15.37	15.54	13.64	14.85
	40	71.11	66.86	68.11	68.69	16.26	16.30	17.80	16.79	18.22	18.37	16.89	17.83
	60	69.58	65.64	67.57	67.60	21.03	18.12	19.36	19.50	19.35	20.62	22.35	20.77
	100	78.72	76.42	79.1	78.08	41.06	42.57	40.57	41.40	40.16	45.19	54.05	46.47
	150	71.3	67.93	79.75	72.99	49.04	47.63	48.71	48.46	45.56	49.63	47.02	47.40
	200	74.72	64.12	66.5	68.45	64.45	56.99	55.23	58.89	55.14	54.96	58.47	56.19

20	56.57	59.13	62.81	59.50	8.65	9.85	10.62	9.71	13.94	14.18	12.98	13.70
40	62.34	64.96	60.93	62.74	12.08	12.11	11.51	11.90	15.97	13.59	12.75	14.10
60	64.79	58.69	56.57	60.02	15.66	14.73	16.18	15.52	18.05	14.39	13.64	15.36
100	65.98	69.21	58.4	64.53	28.16	28.30	27.49	27.98	28.79	29.92	28.25	28.99
150	63.14	63.14	62.18	62.82	42.74	35.51	39.92	39.39	37.63	40.67	38.90	39.07
200	63.95	65.98	60.93	63.62	47.95	41.34	43.38	44.22	47.63	43.46	40.93	44.01
20	47.32	46.28	47.42	47.01	11.12	11.67	10.50	11.10	11.25	11.43	13.32	12.00
40	48.49	50.29	52.3	50.36	19.40	20.32	20.59	20.10	18.42	17.00	19.32	18.25
60	52.79	53.8	56.57	54.39	24.90	28.40	17.73	23.68	29.87	23.19	31.57	28.21
100	57.83	58.69	62.86	59.79	47.00	41.59	39.59	42.73	49.23	43.80	47.30	46.78
150	59.57	59.13	62.15	60.28	46.80	48.82	41.94	45.85	45.13	50.92	51.45	49.17
200	64.79	63.3	66.65	64.91	56.99	57.13	51.70	55.27	60.02	65.98	66.63	64.21

20	54.51	56.99	52.79	54.76	6.75	7.43	6.46	6.88	10.54	8.77	8.02	9.11
40	62.34	58.12	61.55	60.67	10.51	10.67	11.09	10.76	16.65	15.42	9.42	13.83
60	67.93	57.41	65.47	63.60	12.63	12.43	12.61	12.56	16.52	14.91	13.75	15.06
100	60.62	65.47	62.49	62.86	13.06	15.21	16.69	14.99	18.33	15.33	14.96	16.21
150	71.3	69.4	65.98	68.89	29.10	31.18	34.51	31.60	32.97	35.49	33.98	34.15
200	71.49	64.45	63.95	66.63	31.80	38.80	39.03	36.54	36.93	33.47	37.86	36.09



ตารางแสดงการทดสอบการกระจายตัวของค่าเฉลี่ย KHN บริเวณควบคุม บริเวณสูญเสียแร่ธาตุ และบริเวณคืนกลับแร่ธาตุ โดยจำแนกตามความลึกและชนิดของวัสดุ

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.155	12	.200 [*]	.946	12	.586
mean demin	.162	12	.200 [*]	.945	12	.559
mean remin	.170	12	.200 [*]	.893	12	.128

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 20

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.138	12	.200 [*]	.971	12	.920
mean demin	.192	12	.200 [*]	.942	12	.519
mean remin	.166	12	.200 [*]	.931	12	.387

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 40

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.217	12	.125	.890	12	.119
mean demin	.152	12	.200 [*]	.929	12	.366
mean remin	.206	12	.168	.891	12	.120

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 60

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.149	12	.200*	.971	12	.922
mean demin	.084	12	.200*	.984	12	.994
mean remin	.266	12	.019	.909	12	.206

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 100

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.160	12	.200*	.946	12	.574
mean demin	.227	12	.088	.877	12	.081
mean remin	.148	12	.200*	.945	12	.560

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 150

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.179	12	.200*	.943	12	.539
mean demin	.234	12	.068	.904	12	.181
mean remin	.163	12	.200*	.930	12	.378

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 200

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.162	12	.200*	.951	12	.649
mean demin	.121	12	.200*	.981	12	.988
mean remin	.127	12	.200*	.964	12	.833

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 20

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.151	12	.200*	.939	12	.485
mean demin	.179	12	.200*	.912	12	.223
mean remin	.214	12	.133	.897	12	.145

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 40

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.181	12	.200*	.949	12	.617
mean demin	.099	12	.200*	.967	12	.874
mean remin	.159	12	.200*	.861	12	.051

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 60

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.199	12	.200*	.908	12	.203
mean demin	.149	12	.200*	.921	12	.293
mean remin	.117	12	.200*	.952	12	.662

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 100

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.171	12	.200*	.952	12	.664
mean demin	.148	12	.200*	.922	12	.305
mean remin	.244	12	.047	.924	12	.320

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 150

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
mean control	.181	12	.200*	.923	12	.315
mean demin	.197	12	.200*	.868	12	.061
mean remin	.226	12	.090	.885	12	.103

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 200

b. Lilliefors Significance Correction

ตารางแสดงผลทดสอบสถิติ paired t-test ของกลุ่ม RMGIC โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย KHN ของบริเวณคั่นกับวัสดุกับบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ บริเวณ

สูญเสียกับบริเวณควบคุม และบริเวณคั่นกับวัสดุกับบริเวณควบคุม

Paired Samples Test^a

	Paired Differences							
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	3.936	2.750	.794	2.189	5.683	4.958	11	.000
Pair 2 mean demin - mean control	-42.073	6.854	1.978	-46.427	-37.718	-21.265	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-38.137	7.458	2.153	-42.876	-33.398	-17.713	11	.000

a. Distance = 20, Material = RMGIC

Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	5.494	3.409	.984	3.328	7.660	5.582	11	.000
Pair 2 mean demin - mean control	-42.860	8.175	2.360	-48.054	-37.666	-18.162	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-37.366	7.678	2.217	-42.244	-32.487	-16.858	11	.000

a. Distance = 40, Material = RMGIC

Paired Samples Test^a

	Paired Differences							t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		Upper	Lower			
				Upper	Lower					
Pair 1 mean remin - mean demin	6.061	4.349	1.256	3.297	8.824	4.827	11	.001		
Pair 2 mean demin - mean control	-41.926	7.087	2.046	-46.429	-37.422	-20.492	11	.000		
Pair 3 mean remin - mean control	-35.865	7.709	2.225	-40.763	-30.967	-16.116	11	.000		

a. Distance = 60, Material = RMGIC



Paired Samples Test^a

	Paired Differences							t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		Upper	Lower			
				Upper	Lower					
Pair 1 mean remin - mean demin	4.430	3.414	.986	2.261	6.599	4.495	11	.001		
Pair 2 mean demin - mean control	-34.490	9.353	2.700	-40.432	-28.548	-12.775	11	.000		
Pair 3 mean remin - mean control	-30.060	7.7082	2.225	-34.958	-25.163	-13.509	11	.000		

a. Distance = 100, Material = RMGIC



Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	5.944	4.801	1.386	2.893	8.995	4.289	11	.001
Pair 2 mean demin - mean control	-28.797	9.315	2.689	-34.716	-22.879	-10.709	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-22.853	6.840	1.975	-27.199	-18.507	-11.574	11	.000

a. Distance = 150, Material = RMGIC



Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	7.859	5.740	1.657	4.211	11.506	4.742	11	.001
Pair 2 mean demin - mean control	-25.918	9.872	2.850	-32.191	-19.646	-9.095	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-18.060	9.161	2.644	-23.880	-12.240	-6.829	11	.000

a. Distance = 200, Material = RMGIC



ตารางแสดงผลทดสอบสถิติ paired t-test ของกลุ่ม RMCSC โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย KHN ของบริเวณคืบกับบริเวณสูญเสียแร่ธาตุ บริเวณ

สูญเสียกับบริเวณควบคุม และบริเวณคืบกับแร่ธาตุกับบริเวณควบคุม

Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	2.228	1.316	.380	1.391	3.064	5.863	11	.000
Pair 2 mean demin - mean control	-45.414	8.199	2.367	-50.623	-40.204	-19.187	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-43.186	8.063	2.328	-48.309	-38.063	-18.554	11	.000

a. Distance = 20, Material = RMCSC

Paired Samples Test^a

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		Upper			
				Lower	Upper				
Pair 1 mean remin - mean demin	.944	1.486	.429	-.0003	1.888	2.200	11	.050	
Pair 2 mean demin - mean control	-.43771	8.366	2.415	-.49087	-.38456	-.18123	11	.000	
Pair 3 mean remin - mean control	-.42828	7.724	2.230	-.47736	-.37920	-.19208	11	.000	

a. Distance = 40, Material = RMCSC



Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	1.521	1.942	.561	.2869	2.754	2.713	11	.020
Pair 2 mean demin - mean control	-.41011	8.036	2.320	-.46117	-.35906	-.17680	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-.39491	8.195	2.366	-.44700	-.34284	-.16693	11	.000

a. Distance = 60, Material = RMCSC



Paired Samples Test^a

	Paired Differences						Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t		df
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	1.834	2.803	.810	.054	3.615	2.267	11	.045
Pair 2 mean demin - mean control	-27.925	12.437	3.590	-35.827	-20.023	-7.778	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-26.091	12.830	3.704	-34.242	-17.939	-7.044	11	.000

a. Distance = 100, Material = RMCSC

Paired Samples Test^a

	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	1.760	3.122	.901	-.223	3.744	1.953	11	.077
Pair 2 mean demin - mean control	-19.581	12.090	3.490	-27.263	-11.900	-5.610	11	.000
Pair 3 mean remin - mean control	-17.821	12.320	3.556	-25.649	-9.993	-5.011	11	.000

a. Distance = 150, Material = RMCSC

Paired Samples Test^a

	Paired Differences						Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t		df
				Lower	Upper			
Pair 1 mean remin - mean demin	3.260	4.135	1.194	.6328	5.887	2.731	.020	
Pair 2 mean demin - mean control	-14.487	11.754	3.393	-21.955	-7.019	-4.270	.001	
Pair 3 mean remin - mean control	-11.227	13.380	3.862	-19.728	-2.726	-2.907	.014	

a. Distance = 200, Material = RMCSC



ตารางแสดงผลทดสอบสถิติ independent t-test โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย KHN ของแต่ละบริเวณระหว่างวัสดุทั้งสองกลุ่ม โดยจำแนกตามระยะทางจาก

ขอบวัสดุ

Independent Samples Test^a

	Levene's Test for Equality of Variances		t	df	Sig. (2-tailed)	t-test for Equality of Means			
	F	Sig.				Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						Lower	Upper		
mean control	1.403	.249	-.906	22	.375	-2.40722222	2.658230625	-7.92005512	3.105610678
Equal variances assumed									
Equal variances not assumed			-.906	20.975	.375	-2.40722222	2.658230625	-7.93572294	3.121278497
mean demin	.716	.407	.791	22	.437	.933611111	1.179899767	-1.51335124	3.380573461
Equal variances assumed									
Equal variances not assumed			.791	19.472	.438	.933611111	1.179899767	-1.53190025	3.399122474
mean remin	.344	.563	2.085	22	.049	2.641388889	1.266879100	.014042440	5.268735334
Equal variances assumed									
Equal variances not assumed			2.085	20.408	.050	2.641388889	1.266879100	.0021099222	5.280667856

a. Distance = 20

Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	Lower	Upper
mean control	Equal variances assumed	2.880	.104	-.469	22	.644	-1.17583333	2.506819211	-6.37465818	4.022991515	
	Equal variances not assumed			-.469	20.203	.644	-1.17583333	2.506819211	-6.40160301	4.049936344	
mean demin	Equal variances assumed	.488	.492	-.169	22	.867	-.264166667	1.561347449	-3.50220309	2.973869758	
	Equal variances not assumed			-.169	19.233	.867	-.264166667	1.561347449	-3.52942595	3.001092619	
mean remin	Equal variances assumed	2.546	.125	3.448	22	.002	4.286111111	1.243167155	1.707940229	6.864281994	
	Equal variances not assumed			3.448	15.844	.003	4.286111111	1.243167155	1.648604282	6.923617940	

a. Distance = 40



Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	Lower	Upper
mean control	Equal variances assumed	.910	.350	-.160	22	.874	-.424166667	2.654379134	-5.92901206	5.080678730	
	Equal variances not assumed			-.160	21.871	.875	-.424166667	2.654379134	-5.93090075	5.082567416	
mean demin	Equal variances assumed	1.597	.220	-.829	22	.416	-1.33861111	1.614247876	-4.68635631	2.009134084	
	Equal variances not assumed			-.829	20.875	.416	-1.33861111	1.614247876	-4.69684736	2.019625133	
mean remin	Equal variances assumed	.041	.842	1.940	22	.065	3.201666667	1.649990996	-.220205222	6.623538555	
	Equal variances not assumed			1.940	21.666	.065	3.201666667	1.649990996	-.223267802	6.626601135	

a. Distance = 60



Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
									Lower	Upper	
mean control	Equal variances assumed	.059	.810	-.396	22	.696	-1.27250000	3.216878967	-7.94389865	5.398898653	
	Equal variances not assumed			-.396	21.163	.696	-1.27250000	3.216878967	-7.95923773	5.414237731	
mean demin	Equal variances assumed	5.722	.026	-2.340	22	.029	-7.83750000	3.349284162	-14.7834902	-.891509780	
	Equal variances not assumed			-2.340	15.806	.033	-7.83750000	3.349284162	-14.9447418	-.730258199	
mean remin	Equal variances assumed	8.603	.008	-1.419	22	.170	-5.24222222	3.693254428	-12.9015631	2.417118669	
	Equal variances not assumed			-1.419	14.874	.176	-5.24222222	3.693254428	-13.1200071	2.635562606	

a. Distance = 100



Independent Samples Test^a

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
mean control	.123	.729	-.331	22	.744	-1.00888889	3.045009438	-7.32385195	5.306074176	
Equal variances assumed										
mean demin	5.678	.026	-3.033	22	.006	-10.2247222	3.371683680	-17.2171662	-3.23227825	
Equal variances not assumed										
mean remin	8.306	.009	-1.738	22	.096	-6.04083333	3.475230054	-13.2480193	1.166352680	
Equal variances assumed										
Equal variances not assumed				13.940	.104	-6.04083333	3.475230054	-13.4974839	1.415817258	

a. Distance = 150



Independent Samples Test^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	Lower	Upper
mean control	Equal variances assumed	.071	.793	.409	22	.687	1.254722222	3.071116733	-5.11438406	7.623828504	
	Equal variances not assumed			.409	21.723	.687	1.254722222	3.071116733	-5.11910380	7.628548242	
mean demin	Equal variances assumed	5.883	.024	-2.754	22	.012	-10.1763889	3.695211706	-17.8397889	-2.51298885	
	Equal variances not assumed			-2.754	13.195	.016	-10.1763889	3.695211706	-18.1474449	-2.20533283	
mean remin	Equal variances assumed	4.732	.041	-1.269	22	.218	-5.577777778	4.397126102	-14.6968592	3.541303621	
	Equal variances not assumed			-1.269	15.479	.223	-5.577777778	4.397126102	-14.9248223	3.769266742	

a. Distance = 200



ตารางแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนปในแต่ละบริเวณ

(Δ KHN) ของกลุ่ม RMGIC

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μ m)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
1	20	6.34	-42.77	-49.11
	40	11.67	-42.18	-53.85
	60	12.15	-33.74	-45.89
	100	12.15	-32.20	-44.35
	150	12.84	-26.52	-39.36
	200	11.62	-23.07	-34.69
2	20	5.96	-38.03	-44.00
	40	4.86	-35.08	-39.94
	60	5.30	-29.78	-35.08
	100	5.56	-22.98	-28.53
	150	4.22	-15.09	-19.31
	200	9.78	-11.73	-21.51

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
3	20	3.09	-26.59	-29.68
	40	1.03	-27.15	-28.18
	60	1.76	-24.96	-26.72
	100	2.36	-21.51	-23.86
	150	-0.85	-16.10	-15.25
	200	0.04	-14.55	-14.59
4	20	1.82	-38.71	-40.54
	40	3.07	-40.71	-43.78
	60	-0.60	-36.70	-36.10
	100	1.07	-22.49	-23.56
	150	7.13	-11.72	-18.86
	200	7.51	-4.71	-12.22

หมายเลข ชั้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
5	20	0.61	-31.13	-31.74
	40	5.51	-22.28	-27.79
	60	14.38	-25.01	-39.39
	100	2.57	-20.34	-22.91
	150	4.35	-13.18	-17.53
	200	4.11	-6.51	-10.62
6	20	0.55	-47.07	-47.62
	40	0.94	-43.42	-44.36
	60	5.05	-43.17	-48.22
	100	5.16	-33.51	-38.67
	150	1.79	-27.73	-29.52
	200	5.94	-21.12	-27.06

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
7	20	3.54	-39.02	-42.56
	40	11.30	-31.27	-42.57
	60	7.35	-36.00	-43.35
	100	1.18	-38.60	-39.78
	150	6.31	-31.85	-38.16
	200	5.03	-35.28	-40.31
8	20	9.99	-28.07	-38.05
	40	4.92	-39.56	-44.48
	60	4.27	-45.10	-49.37
	100	8.02	-35.57	-43.59
	150	15.58	-25.44	-41.01
	200	12.94	-21.17	-34.11

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
9	20	1.41	-52.00	-53.41
	40	3.76	-49.49	-53.25
	60	1.10	-50.24	-51.34
	100	6.41	-41.29	-47.70
	150	9.83	-28.70	-38.53
	200	21.40	-13.93	-35.32
10	20	5.41	-34.18	-39.59
	40	6.53	-34.43	-40.96
	60	7.22	-30.90	-38.12
	100	3.38	-21.89	-25.27
	150	1.13	-26.38	-27.51
	200	0.96	-32.01	-32.97

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
11	20	4.08	-42.35	-46.43
	40	4.79	-43.65	-48.44
	60	8.60	-37.18	-45.79
	100	5.19	-37.78	-42.97
	150	4.07	-24.58	-28.65
	200	8.11	-16.93	-25.04
12	20	4.43	-37.73	-42.15
	40	7.55	-39.18	-46.72
	60	6.14	-37.60	-43.74
	100	0.11	-32.57	-32.67
	150	4.94	-26.95	-31.89
	200	6.85	-15.72	-22.58

ตารางแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคแบบนูนปในแต่ละบริเวณ

(Δ KHN) ของกลุ่ม RMCSC

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μ m)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
1	20	3.57	-50.45	-54.02
	40	2.62	-48.32	-50.94
	60	1.67	-45.18	-46.85
	100	-0.87	-30.81	-29.94
	150	8.87	-10.91	-19.78
	200	11.43	-5.85	-17.28
2	20	0.96	-32.95	-33.91
	40	1.33	-31.84	-33.18
	60	2.10	-25.41	-27.51
	100	-2.36	-3.98	-1.62
	150	-2.25	1.46	3.71
	200	0.90	4.87	3.97

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
3	20	1.84	-55.81	-57.65
	40	-0.13	-55.54	-55.42
	60	2.44	-49.71	-52.15
	100	7.14	-14.15	-21.28
	150	5.09	-6.46	-11.55
	200	4.29	-8.32	-12.62
4	20	0.94	-49.40	-50.34
	40	1.17	-47.24	-48.41
	60	0.96	-42.78	-43.73
	100	0.09	-34.01	-34.10
	150	0.13	-29.40	-29.53
	200	0.67	-23.77	-24.44

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
5	20	0.28	-39.10	-39.38
	40	0.47	-40.02	-40.49
	60	-2.65	-37.98	-35.33
	100	4.51	-9.92	-14.43
	150	3.39	-1.57	-4.95
	200	5.47	3.51	-1.96
6	20	3.04	-37.72	-40.76
	40	1.97	-36.49	-38.46
	60	3.92	-35.81	-39.72
	100	0.72	-34.45	-35.17
	150	1.81	-34.70	-36.52
	200	1.32	-34.58	-35.91

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
7	20	3.66	-39.78	-43.44
	40	-1.24	-38.51	-37.27
	60	-0.38	-34.00	-33.62
	100	1.97	-25.83	-27.80
	150	-1.00	-16.32	-15.32
	200	5.55	2.79	-2.76
8	20	3.68	-32.75	-36.43
	40	0.66	-37.51	-38.17
	60	2.04	-36.83	-38.87
	100	-0.52	-33.11	-32.59
	150	0.61	-20.75	-21.36
	200	3.92	-10.25	-14.17

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
9	20	1.64	-53.80	-55.44
	40	1.04	-50.87	-51.91
	60	1.27	-46.82	-48.09
	100	5.07	-31.61	-36.68
	150	-1.06	-25.59	-24.53
	200	-2.70	-12.26	-9.56
10	20	3.99	-45.80	-49.80
	40	2.20	-48.64	-50.84
	60	-0.16	-44.66	-44.49
	100	1.00	-35.54	-36.55
	150	-0.32	-23.75	-23.43
	200	-0.22	-19.61	-19.40

หมายเลข ชิ้นงาน	ระยะทางจากขอบ วัสดุ (μm)	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณสูญเสีย แร่ธาตุ	บริเวณคืนกลับแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม	บริเวณสูญเสียแร่ ธาตุ-บริเวณควบคุม
11	20	0.90	-35.01	-35.91
	40	-1.86	-32.11	-30.26
	60	4.53	-26.18	-30.71
	100	4.05	-13.02	-17.07
	150	3.31	-11.12	-14.43
	200	8.94	-0.70	-9.64
12	20	2.23	-45.65	-47.88
	40	3.07	-46.84	-49.91
	60	2.50	-48.54	-51.05
	100	1.22	-46.65	-47.87
	150	2.55	-34.75	-37.30
	200	-0.46	-30.54	-30.09

ตารางแสดงการทดสอบการกระจายตัวของค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาค
แบบนูนในแต่ละบริเวณ (Δ KHN) โดยจำแนกตามระยะทางจากขอบวัสดุและชนิดของวัสดุ

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.112	12	.200 [*]	.941	12	.515
Remin-Control	.145	12	.200 [*]	.973	12	.937
Demin-Control	.112	12	.200 [*]	.973	12	.944

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 20

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.164	12	.200 [*]	.920	12	.287
Remin-Control	.177	12	.200 [*]	.963	12	.830
Demin-Control	.194	12	.200 [*]	.899	12	.152

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 40

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.133	12	.200 [*]	.969	12	.897
Remin-Control	.161	12	.200 [*]	.961	12	.799
Demin-Control	.163	12	.200 [*]	.950	12	.636

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 60

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.124	12	.200 ^c	.933	12	.411
Remin-Control	.238	12	.060	.877	12	.080
Demin-Control	.173	12	.200 ^c	.883	12	.095

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 100

b. Lilliefors Significance Correction

**Tests of Normality^a**

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.166	12	.200 ^c	.944	12	.548
Remin-Control	.266	12	.019	.863	12	.054
Demin-Control	.179	12	.200 ^c	.906	12	.190

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 150

b. Lilliefors Significance Correction

**Tests of Normality^a**

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.149	12	.200 ^c	.935	12	.435
Remin-Control	.132	12	.200 ^c	.954	12	.692
Demin-Control	.179	12	.200 ^c	.936	12	.447

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMGIC, Distance = 200

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.180	12	.200 ^c	.904	12	.177
Remin-Control	.164	12	.200 ^c	.933	12	.416
Demin-Control	.132	12	.200 ^c	.938	12	.469

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 20

b. Lilliefors Significance Correction

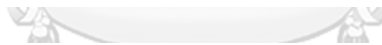
**Tests of Normality^a**

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.125	12	.200 ^c	.963	12	.826
Remin-Control	.198	12	.200 ^c	.937	12	.455
Demin-Control	.210	12	.148	.913	12	.236

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 40

b. Lilliefors Significance Correction

**Tests of Normality^a**

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.140	12	.200 ^c	.960	12	.782
Remin-Control	.156	12	.200 ^c	.923	12	.310
Demin-Control	.133	12	.200 ^c	.961	12	.794

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 60

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.170	12	.200 [*]	.959	12	.766
Remin-Control	.227	12	.089	.918	12	.266
Demin-Control	.163	12	.200 [*]	.948	12	.605

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 100

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.144	12	.200 [*]	.932	12	.402
Remin-Control	.124	12	.200 [*]	.951	12	.657
Demin-Control	.091	12	.200 [*]	.974	12	.945

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 150

b. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality^a

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Remin-Demin	.180	12	.200 [*]	.950	12	.638
Remin-Control	.136	12	.200 [*]	.931	12	.386
Demin-Control	.094	12	.200 [*]	.980	12	.982

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Material = RMCSC, Distance = 200

b. Lilliefors Significance Correction