

ผลของสารนี้กลุ่มร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์และไม่ผสมฟลูออไรด์ต่อปริมาณแร่ธาตุ
ของรอยผุจำลองในระยะเริ่มแรก



เรือโทหญิง ขวัญฤดี วัฒนธรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก

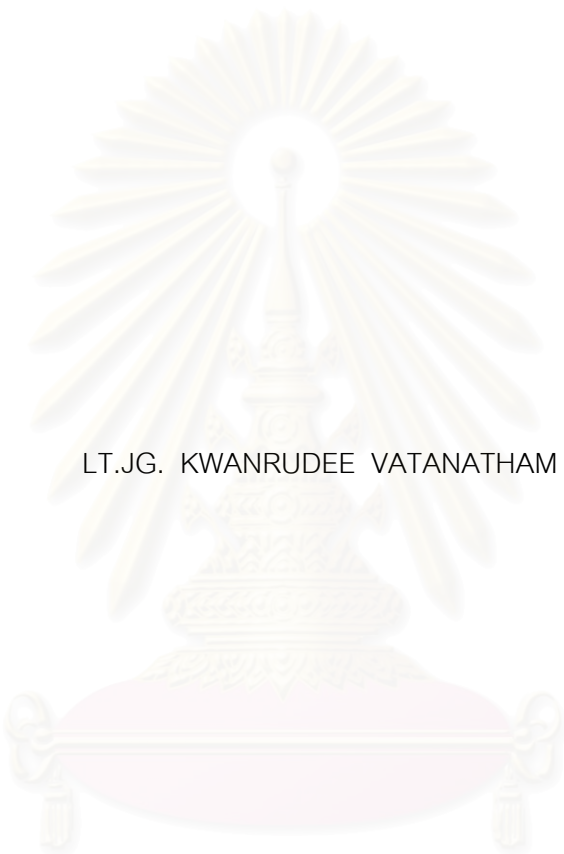
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0266-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF FLUORIDE- AND NONFLUORIDE-CONTAINING RESIN SEALANTS ON
MINERAL CONTENT OF INCIPIENT ARTIFICIAL CARIOUS LESION



LT.JG. KWANRUDEE VATANATHAM

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Pediatric Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0266-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารพืชน้ำกลุ่มร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์และไม่ผสมฟลูออไรด์ต่อปริมาณแร่ธาตุของรอยผุจำลองในระยะเริ่มแรก
โดย	เรือโทหญิง ขวัญฤดี วัฒนธรรม
สาขาวิชา	ทันตกรรมสำหรับเด็ก
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ชุติมา ไตรรัตน์วรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ธนิส เหมินทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ชุติมา ไตรรัตน์วรกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ดารณี ตัณฑ์ไพโรจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ทิพวรรณ ธราภิวัฒน์นนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง)

ขวัญฤดี วัฒนธรรม : ผลของสารฟลูออโรฟอสเฟตบนปริมาณแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันบริเวณรอยฟุ่ที่จำลองขึ้นใน
ไรต์ต่อปริมาณแร่ธาตุของรอยฟุ่จำลองในระยะเริ่มแรก. (EFFECT OF FLUORIDE- AND
NONFLUORIDE-CONTAINING RESIN SEALANTS ON MINERAL CONTENT OF
INCIPIENT ARTIFICIAL CARIOUS LESION) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ทพญ. ชูติมา
ไตรรัตน์วรกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ทพญ. ดร. ดารณี ตัณฑไพโรจน์, 73 หน้า.
ISBN 974-03-0266-1

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันบริเวณรอยฟุ่ที่จำลองขึ้นใน
ห้องปฏิบัติการ ภายหลังการฉีกด้วยสารฟลูออโรฟอสเฟตกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ เตรียม
รอยฟุ่จำลองขนาด 2x2 มม.ที่ผิวเคลือบฟันทางด้านข้างแก้มของฟันกรามน้อยจำนวน 60 ซี่ โดยแช่ฟันในสาร
ละลายคาร์โบพอลที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Carbopol demineralizing solution) ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง
เท่ากับ 5.0 เป็นเวลา 9 วัน ฟันแต่ละซี่มีรอยฟุ่จำลองจำนวน 2 รอย แบ่งขึ้นตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ในกลุ่มแรก (30ซี่)
ใช้เดลทอน (Delton) และเดลทอนพลัส (Delton Plus) กลุ่มที่สอง (30 ซี่) ใช้เฮลิโอซีล (Helioseal) และเฮลิโอซีลเอฟ
(Helioseal-F) ฉีกทับบริเวณรอยฟุ่จำลอง แช่ฟันในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างมาตัดในแนว
ขวางผ่านบริเวณรอยฟุ่จำลอง ชัดผิวหน้าตัดให้เรียบมัน วัดความแข็งผิววิกเคอร์ (Vickers hardness) ที่ผิวหน้าตัด
โดยจุดแรกห่างผิวฟัน 20 ไมโครเมตร และจุดต่อ ๆ ไปทุก 10 ไมโครเมตร จนครบ 12 จุด แปลงค่าความแข็งผิววิก
เคอร์เป็นค่าความแข็งคีนูป (Knoop hardness number) แล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย
เปรียบเทียบในกลุ่มเดียวกัน

ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มแรก ซึ่งได้แก่
เดลทอนและเดลทอนพลัสมีค่าเท่ากับ 1423 ± 441 และ 1287 ± 421 ตามลำดับ กลุ่มที่สอง ได้แก่ เฮลิโอซีลและเฮลิ-
โอซีลเอฟมีค่าเท่ากับ 1223 ± 284 และ 1165 ± 267 ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติแพร์ทีเทส (Paired t-test)
พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียของเดลทอนพลัสไม่แตกต่างจากเดลทอน และเฮลิโอซีลเอฟไม่แตกต่างจาก
เฮลิโอซีลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) โดยสรุปการใช้สารฟลูออโรฟอสเฟตบนปริมาณแร่ธาตุชนิดเดลทอน-
พลัสและเฮลิโอซีลเอฟบนฟันที่จำลองรอยฟุ่จำลอง ไม่ทำให้ปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวฟันแตกต่างจากการฉีกด้วย
เดลทอนและเฮลิโอซีลตามลำดับ

ภาควิชา.....ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4276103932 : MAJOR PEDIATRIC DENTISTRY

KEYWORD FLUORIDE SEALANT/ARTIFICIAL CARIES/HARDNESS/MINERAL CONTENT
KWANRUDEE VATANATHAM : EFFECT OF FLUORIDE- AND NONFLUORIDE-
CONTAINING RESIN SEALANTS ON MINERAL CONTENT OF INCIPIENT
ARTIFICIAL CARIOUS LESION. THESIS ADVISER: ASSOC. PROF. CHUTIMA
TRAIRATVORAKUL DDS., THESIS CO-ADVISER: ASSIST. PROF. DR. DARANEE
TANTBIROJN DDS. Ph.D., 73 pp.

The purpose of this study was to compare the mineral content of incipient artificial carious lesion in enamel after being sealed with fluoride- and nonfluoride-containing resin sealants. Two 2x2 mm² artificial lesions were created on buccal surface of 60 premolars by using Carbopol demineralizing solution. The first group (30 teeth) was sealed with Delton[®] and Delton[®]Plus, the second group (30 teeth) was sealed with Helioclear[®] and Helioclear[®]F. All teeth were immersed in artificial saliva for 7 days and sectioned through the lesions. The cross-sectioned surfaces were polished, then subjected to Vickers hardness measurements at 20 µm from the outer enamel and every 10 µm inwards across the lesion to the underlying sound enamel. Vickers hardness number was converted to Knoop hardness number (KHN). Mean mineral loss (ΔZ Value) was calculated from KHN and was compared within each group.

Mean±SD of the mineral content for Delton, Delton Plus, Helioclear and Helioclear-F were 1423±441, 1287±421, 1223±284 and 1165±267, respectively. Paired t-test showed that the mineral content in Delton Plus and Helioclear-F groups were not significantly different from the control groups, Delton and Helioclear (P=0.05) when these fluoride-containing resin sealants were applied on incipient enamel carious lesion.

Department..... Student's signature.....

Field of study..... Advisor's signature.....

Academic year..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ชูติมา ไตรรัตน์วรกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร. ดารณี ตัณฑพิโรจน์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางวิชาการ และกรุณาให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้วิจัย จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เอมอร เบญจวงศ์กุลชัย และอาจารย์ทันทแพทย์สุพจน์ ตามสายลม ที่กรุณาให้คำแนะนำ และได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำการใช้สถิติ

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยงานต่าง ๆ ดังนี้ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสารเคมี วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ฝ่ายวิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องตัดฟันและเครื่องวัดความแข็งผิวฟัน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ทุนสำหรับวิจัย คุณอำพา ชมพูนุช และบริษัทยูนิดี เด็นทัล จำกัด ที่อนุเคราะห์สารฟันสีกลุ่มร่องฟันที่ใช้ในการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวของผู้วิจัย เรือเอกสยามภูศิริรังษีและครอบครัว ตลอดจนเพื่อนนิสิตปริญญาโทที่ให้กำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้ทั้งหมด ที่ช่วยเหลือในการทำงานและสนับสนุนผู้วิจัย จนการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ประโยชน์และความดีใด ๆ ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เรือโทหญิง ขวัญฤดี วัฒนธรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทบาทของฟลูออไรด์ต่อกระบวนการการสะสมกลับของแร่ธาตุที่ผิวฟัน.....	8
บทบาทของสารฟีนอลกลุ่มร่อนฟันต่อการป้องกันฟันผุ.....	9
การวัดความแข็งผิวแบบจุลภาค.....	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
ประชากรเป้าหมาย.....	18
กลุ่มตัวอย่าง.....	18
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	18
วิธีการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	21
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	28

บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	29
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	34
อภิปรายผลการวิจัย.....	34
สรุปผลการวิจัย.....	40
ข้อเสนอแนะ.....	40
รายการอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	73



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแรงที่ใช้กดผิวฟัน.....	25
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของรอยผุ จำลองหลังฉีกด้วยสารพ่นสีหลุมร่องฟันเรซินชนิดต่าง ๆ.....	29
ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุ โดยใช้สถิติแพร์ทีเทส (Paired t-test).....	30



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

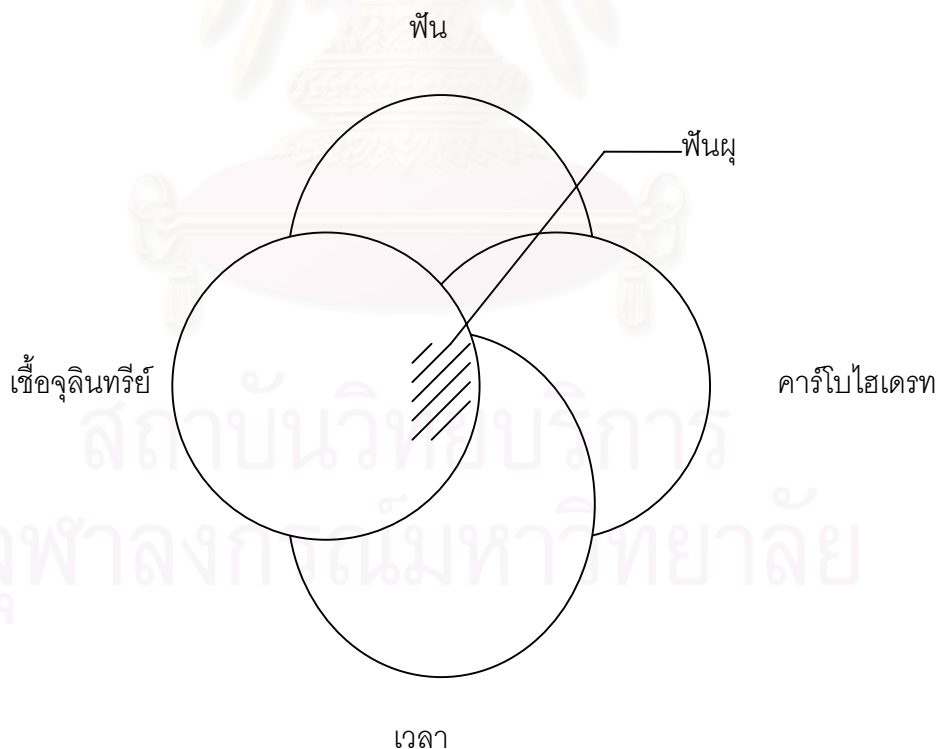
ภาพที่ 1	แผนภาพเวกเตอร์แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดฟันผุ.....	1
ภาพที่ 2	แผนภาพแสดงกลไกการทำงานของสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์.....	9
ภาพที่ 3	กลไกในการป้องกันฟันผุของสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์	10
ภาพที่ 4	แสดงห้วกดชนิดวิกเคอร์.....	14
ภาพที่ 5	แสดงรอยกดและห้วกดชนิดนูน.....	15
ภาพที่ 6	แสดงแผนภาพทิศทางการกดของห้วกด.....	16
ภาพที่ 7	ภาพเครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรชนิดความเร็วต่ำ.....	18
ภาพที่ 8	เครื่องขัดฟัน.....	19
ภาพที่ 9	ภาพเครื่องวัดความแข็งผิวฟัน.....	19
ภาพที่ 10	แสดงรูปสารผนึกหลุมร่องฟันที่ใช้ในการวิจัย.....	20
ภาพที่ 11	แสดงภาพหน้าตัดบนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	21
ภาพที่ 12	แสดงภาพชิ้นตัวอย่างที่ได้รับการผนึกด้วยสารผนึกหลุมร่องฟัน.....	23
ภาพที่ 13	: 13.1 แสดงด้านข้างแก้มของชิ้นตัวอย่าง.....	24
	13.2 แสดงหน้าตัดของชิ้นตัวอย่าง.	24
ภาพที่ 14	แสดงการฝังชิ้นตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความแข็ง.....	24
ภาพที่ 15	แสดงรอยกดที่จะทำการกด.....	26
ภาพที่ 16	กราฟแสดงร้อยละของการสูญเสียแร่ธาตุ.....	27
ภาพที่ 17	กราฟแสดงค่าร้อยละของปริมาตรแร่ธาตุที่ระยะความลึกต่าง ๆ.....	31
ภาพที่ 18	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของการสูญเสียแร่ธาตุในวัสดุผนึกร่องฟันกลุ่มต่าง ๆ.....	31
ภาพที่ 19	แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ผนึกด้วยเดลทอน (Delton).....	32
ภาพที่ 20	แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ผนึกด้วยเดลทอนพลัส (Delton-Plus).....	32
ภาพที่ 21	แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ผนึกด้วยเฮลิโอซีล (Helioseal)	33
ภาพที่ 22	แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ผนึกด้วยเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F)	33

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟันผุเป็นโรคของอวัยวะในช่องปากที่ซับซ้อนและยังคงเป็นปัญหาทางทันตสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย (กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 2537) โรคฟันผุมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ (Multifactorial disease) ลักษณะเริ่มแรกของโรคฟันผุจะเป็นการสูญเสียแร่ธาตุของส่วนอนินทรีย์ (Inorganic matrix) ของฟัน แล้วจึงมีการสูญเสียของส่วนอินทรีย์ (Organic matrix) ตามมา การเกิดขบวนการทำลายเช่นนี้เป็นผลจากการเผาผลาญสารคาร์โบไฮเดรตของเชื้อจุลินทรีย์บนตัวฟันในช่วงเวลาที่นานพอ ปัจจัยที่ทำให้เกิดฟันผุอธิบายได้ดังแผนภาพเวนน์ (Venn diagram) ซึ่งเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Miller ตั้งแต่ ค.ศ. 1890 (Adair, 1994) และมีการปรับปรุงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพเวนน์แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดฟันผุ

การป้องกันฟันผุสามารถทำได้หลายประการโดยผ่านปัจจัยที่เป็นสาเหตุของโรค เช่น การแปรงฟัน การรับประทานอาหารที่ถูกต้อง การใช้สารฟลูออไรด์ การฉีกหลุมร่องฟันและการมารับการตรวจฟันอย่างสม่ำเสมอ การใช้สารฟลูออไรด์เป็นที่ยอมรับกันว่าสามารถป้องกันฟันผุของด้านผิวเรียบได้อย่างดี โดยเฉพาะผลป้องกันฟันผุภายหลังฟันขึ้น (Post-eruptive effect) (Groeneveld และคณะ, 1990) สารฟลูออไรด์จะช่วยยับยั้งการเกิดกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralization) และสนับสนุนกระบวนการสะสมกลับของแร่ธาตุ (Remineralization) ที่ผิวฟัน แต่การใช้ฟลูออไรด์กลับให้ผลน้อยในการป้องกันฟันผุในด้านบดเคี้ยว (Waggoner, 1991; Hicks และ Flaitz, 1992; American Dental Association, 1997; Hicks และ Flaitz, 1999) เนื่องจากด้านบดเคี้ยวของฟันกรามมีหลุมร่องลึกและมีความหนาของผิวเคลือบฟันน้อย หลุมร่องเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก มีความคดเคี้ยวขรุขระและอาจแตกแขนง ทำให้เป็นที่กักเก็บของเศษอาหารและเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่แปรงสีฟันหรือน้ำลายไม่สามารถผ่านเข้าไปทำความสะอาดได้ ทำให้ด้านบดเคี้ยวเกิดการผุได้ง่าย

สารฉีกหลุมร่องฟัน (Sealant) สามารถป้องกันฟันผุบนด้านบดเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย (Ripa, 1983; American Dental Association, 1987; Weintraub, 1989; Rohr และคณะ, 1991) โดยวัสดุฉีกหลุมร่องฟันจะทำหน้าที่ปิดกั้นหลุมร่องฟันจาก เชื้อจุลินทรีย์และอาหารซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟันผุ ข้อบ่งชี้ในการคัดเลือกฟันที่จะได้รับการเคลือบหลุมร่องฟัน คือ ฟันที่มีหลุมและร่องลึก ฟันที่สามารถควบคุมความชื้นได้ ฟันที่ไม่มีการผุในด้านประชิดและได้รับการควบคุมการผุด้านประชิดอย่างดี เช่นการได้รับฟลูออไรด์เฉพาะที่และสุดท้ายถ้ามีรอยผุ รอยผุนั้นต้องอยู่ในระยะเริ่มต้นจำกัดอยู่ในผิวเคลือบฟันเท่านั้น (ADA, 1997) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการศึกษารายงานว่าการใช้สารฉีกหลุมร่องฟันฉีกทับหลุมร่องฟันที่เพิ่งเริ่มผุมีผลยับยั้งการผุลงได้ (Elderton, 1985; Mertz-Fairhurst และคณะ, 1986; Geopferd และ Olberding, 1989; Donly และ Ruiz, 1992) จากการตรวจเชื้อจุลินทรีย์ในรอยผุที่ฉีกด้วยสารฉีกหลุมร่องฟันพบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในรอยผุลดลง (Theilade และคณะ, 1977) รวมทั้งจากภาพถ่ายทางรังสีและลักษณะทางคลินิกก็ไม่มีอาการลุกลามของฟันที่ผุต่อ (Handelman, 1985)

การพัฒนาสารฉีกหลุมร่องฟันยังคงดำเนินต่อไป โดยเฉพาะการเติมสารฟลูออไรด์ลงไปเพื่อหวังผลให้นอกจากการป้องกันฟันผุบนด้านบดเคี้ยวแล้ว ยังป้องกันการเกิดฟันผุที่ขอบวัสดุ (Secondary caries) และอาจทำให้เกิดการสะสมกลับแร่ธาตุของฟันที่เริ่มผุได้อีกด้วย รูปแบบของฟลูออไรด์ที่เติมลงไปมีหลายรูปแบบ เช่น สารประกอบฟลูออไรด์ (Fluoride compound) และเกลือฟลูออไรด์ (Fluoride salt) เป็นต้น โดยหวังผลให้มีการแตกตัวแล้วปลดปล่อยฟลูออไรด์

ออกมาทั้งในช่องปาก และเข้าไปในผิวฟัน ตัวอย่างสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ที่มีจำหน่ายทั่วไป ได้แก่ เดลทอนพลัส (Delton-plus: Dentsply, USA), เฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F: Vivadent, USA) และฟลูโรชีลด์ (Fluroshield: Dentsply, USA) เป็นต้น

มีรายงานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ถึง 30 วัน โดยมีปริมาณที่ถูกปล่อยออกมาค่อนข้างสูงในช่วง 1-2 วันแรก และลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาผ่านไป (Rock และคณะ, 1996; Cooley และคณะ, 1990; Loyola-Rodriguez และ Garcia-Godoy, 1996; Garcia-Godoy และคณะ, 1997) ถึงแม้ว่าจะมีผู้กังวลต่อคุณภาพในการยึดติดของสารผนึกหลุมร่องฟันที่มีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบ Jensen และคณะ (1990) พบว่าสารผนึกหลุมร่องฟันผสมฟลูออไรด์ชนิดฟลูโรชีลด์ (Fluroshield) มีอัตราการยึดติดไม่แตกต่างจากสารผนึกหลุมร่องฟันไม่ผสมฟลูออไรด์ชนิดปริสมาชีลด์ (Prisma-shield) แต่อย่างใด นอกจากนี้ Koch และคณะ (1997) ก็พบว่าอัตราการยึดติดของสารผนึกหลุมร่องฟันผสมฟลูออไรด์ชนิดเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) กับสารผนึกหลุมร่องฟันไม่ผสมฟลูออไรด์ชนิดเดลทอน (Delton) ไม่แตกต่างกัน

สารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ สามารถลดการเกิดการผุบริเวณรอบ ๆ สารผนึกหลุมร่องฟัน (Hicks และ Flaitz, 1992) และสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อได้ (Loyola-Rodriguez และ Garcia-Godoy, 1996) ปัจจุบันมีสารผนึกหลุมร่องฟันที่ผสมฟลูออไรด์มาขายในประเทศไทยอย่างมากมายหลายชนิด แต่จากข้อมูลข้างต้นยังไม่มีการศึกษาว่าการผนึกสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ที่บรอมยุเรียมแรกจะทำให้บรอมยุเรียมมีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกับการใช้สารผนึกหลุมร่องฟันชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์หรือไม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษาคั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันที่ได้รับการจำลองทางห้องปฏิบัติการให้เกิดการผุ ภายหลังจากการผนึกด้วยสารผนึกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์กับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์

สมมติฐานของการวิจัย

ปริมาณแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันที่ได้รับการจำลองทางห้องปฏิบัติการให้เกิดการผุ ภาย หลังการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์กับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ไม่แตก ต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ
2. ตัวอย่างที่นำมาศึกษาคือฟันกรามน้อยที่ปราศจากรอยแตก รอยผุและรอยอุด ถูกถอน จากผู้ป่วยที่จะทำการจัดฟัน
3. บริเวณที่จะทำการศึกษาคือด้านข้างแก้ม (Buccal surface) บริเวณใกล้ด้านบดเคี้ยว หนึ่งในสามของตัวฟัน (Occlusal third) โดยแบ่งซีกซ้ายและซีกขวา ทาน้ำยาทาเล็บให้ได้น้ำ ต่าง 2 บานเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองตามแต่การจับฉลาก ซึ่งจะได้ส่วนของผิวเคลือบฟันที่ อยู่ในแนวระนาบเดียวกัน
4. ทำผิวเคลือบฟันบริเวณหน้าต่างที่เตรียมไว้ให้ผุด้วยสารละลายที่ทำให้เกิดกระบวนการ สูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing solution) เพื่อเป็นการจำลองการผุในระยะเริ่มต้นที่ยังไม่มีการ สูญเสียโครงสร้างของผิวฟัน แล้วฉีกสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินที่มีเครื่องหมายการค้าเดียวกัน ชนิดผสมฟลูออไรด์กับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเหมือนกันทุกประการและมีการเติมสารฟลูออไรด์ลงไป จากนั้นนำไปวัดความแข็งผิวของการผุจำลองได้สารฟีนิกหลุมร่องฟัน ที่ความลึกจากผิวฟันตามกำหนด แปลงเป็นค่าปริมาณแร่ธาตุแล้วนำมาเปรียบเทียบในสารที่มี เครื่องหมายการค้าเดียวกัน ทั้งนี้ค่าความแข็งผิวของเคลือบฟันที่ความลึกเท่า ๆ กันจากผิวฟันไม่ มีความแตกต่างกัน (Purdell-Lewis และคณะ, 1976) และความแข็งผิวสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุ โดยรวม (Featherstone และคณะ, 1983)
5. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง การขัดชิ้นตัวอย่าง การวัดความแข็งผิวฟันและการทดสอบ ความแข็งผิวฟัน ทำโดยผู้วิจัยซึ่งเป็นทันตแพทย์คนเดียว และใช้เครื่องมือขึ้นเดียวกันตลอดการ ศึกษา โดยการทำให้เกิดการผุจำลองและการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันทำที่คณะทันตแพทย์-

ศาสตราจารย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การขัดขึ้นตัวอย่างและการวัดความแข็งผิวฟันทำที่คณะทันต-
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ส่วนการตัดฟันทำโดยเจ้าหน้าที่ของหน่วยวิจัยคณะทันต-
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้ยังไม่สามารถนำไป
สรุปถึงผลของสารฟลักทอโรเจนชนิดผสมฟลูออไรด์ กับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ในทางคลินิกได้

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

รอยผุจำลอง (Artificial carious lesion) หมายถึง รอยผุที่เกิดจากการแช่ขึ้นฟันใน
สารละลายที่ทำให้เกิดกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing solution) ซึ่งเตรียมโดยมี
ส่วนผสมของกรดแลคติกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรดโพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 2
(Carbopol C907 B.F., Goodrich company, USA) และไฮดรอกซีอะพาไทท์ (BioRAD,
USA) สารละลายมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 5.0 เมื่อแช่ขึ้นตัวอย่างในสารละลายนี้เป็นเวลา 9
วัน จะทำให้มีลักษณะของการสูญเสียแร่ธาตุคล้ายกับรอยผุเริ่มแรก (Incipient carious lesion)
ของผิวเคลือบฟัน โดยมีความลึกของรอยผุประมาณ 70 – 80 ไมโครเมตร (White, 1987)

ค่าความแข็งผิวฟันวิกเคอร์ (Vickers hardness number) หมายถึง ระบบหนึ่งของ
ค่าความแข็งที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบจุลภาค (Microhardness tester) โดย
ใช้หัวกดวิกเคอร์ (Vickers indenter) กดด้วยแรงขนาดที่กำหนด ซึ่งจะได้รอยกดบนผิววัสดุ
ที่ต้องการทดสอบเป็นรูปปิระมิดซึ่งมีขอบคมชัด ผู้วิจัยทำการวัดเส้นทแยงมุมของรอยกด
จากนั้นเครื่องจะคำนวณค่าความแข็งวิกเคอร์ (Vickers hardness number) จากขนาดแรงที่
กดและขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกด

ค่าร้อยละโดยปริมาตรของแร่ธาตุ (Volume percent mineral) หมายถึง ค่าร้อยละ
โดยปริมาตรของแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันซึ่งคำนวณได้จากสูตร

Volume percent mineral = $4.3 \sqrt{\text{KHN}} + 11.3$ (Featherstone และคณะ, 1983)
KHN = ความแข็งนूप (Knoop hardness number) เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่าความแข็ง-
วิกเคอร์ (Vickers hardness number) (Zwick 3212 Instruction manual)

ปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย (Mineral loss) หมายถึงปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไป ซึ่ง
คำนวณจากการอินทิเกรต (Integration) ค่าร้อยละของแร่ธาตุของผิวเคลือบฟัน ณ ความลึกต่าง ๆ
ของรอยผุ โดยใช้ค่าร้อยละของแร่ธาตุในตำแหน่งผิวฟันที่ไม่มีการผุเป็นเกณฑ์ปกติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในฟันที่มีการผุระยะเริ่มต้น (Incipient caries หรือ White spot lesion) บางครั้งทันต-
แพทย์ไม่แน่ใจว่าควรจะให้การรักษาด้วยวิธีใด มีรายงานว่าการใช้สารฟลูออไรด์บนฟันผุ
ทำให้การผุนั้นไม่ลุกลามต่อไป (Jensen และคณะ, 1990; Handleman และคณะ, 1985)
ประกอบกับในระยะหลังมีการผลิตสารฟลูออไรด์ผสมฟลูออไรด์เข้มข้น ซึ่งอาจทำให้มีการ
สะสมกลับของแร่ธาตุได้อีกด้วย จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกของการรักษา ผลการวิจัยครั้งนี้ถ้าหาก
พบว่าสารฟลูออไรด์ผสมฟลูออไรด์เข้มข้นสามารถทำให้รอยผุจำลองที่ผิวเคลือบฟันมีปริมาณ
แร่ธาตุมากกว่าชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ได้ จะเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาทางคลินิกของวิธีการนี้
ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นการป้องกันไม่ให้ฟันผุลุกลามต่อไป แต่ยังเป็นการรักษาฟันที่ผุในระยะเริ่ม
แรกได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรคฟันผุเป็นโรคที่เป็นปัญหาทางทันตสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย การผุของฟันเกิดจากความสมดุลระหว่างการสูญเสียและการสะสมกลับของแร่ธาตุเสียไป โดยที่มีการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าการสะสมกลับของแร่ธาตุ ในระยะแรกจะมีการสูญเสียแร่ธาตุที่เป็นส่วนสร้างของอินทรีย์สาร (Inorganic matrix) ระยะต่อมาจึงจะมีการทำลายในส่วนสร้างของอินทรีย์สาร (Organic matrix) ซึ่งการสูญเสียแร่ธาตุนี้เกิดจากกรดอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้ของการเผาผลาญอาหารของเชื้อจุลินทรีย์บนตัวฟัน Holman และคณะ (1985) สังเกตผิวเคลือบฟันที่ถูกละลายด้วยกรดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope) พบว่าระยะห่างระหว่างผลึกของผิวเคลือบฟันจะกว้างขึ้นเมื่อถูกกรด เป็นช่องทางที่ทำให้กรดสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างของผิวเคลือบฟันได้ง่ายขึ้น ลักษณะการผุในระยะเริ่มแรกมีลักษณะเป็นจุดสีขาวขุ่น (White spot lesion) เกิดเนื่องจากการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวบนอกสุดน้อยกว่าในชั้นถัดลงไป คือที่ผิวบนอกสุดสูญเสียแร่ธาตุทำให้มีรูพรุนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 5 (<5% pore volume) และในชั้นถัดลงไปมีการสูญเสียแร่ธาตุเกิดรูพรุนในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 25 (> 25% pore volume) ทำให้บริเวณรอยผุระยะแรกสูญเสียความโปร่งแสงและเห็นเป็นสีขาวขุ่น (Silverstone, 1968) รอยผุระยะแรกที่ผิวฟันยังคงต่อเนื่องอยู่อาจเป็นผลมาจากการได้รับฟลูออไรด์ขณะที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ ก่อให้เกิดกระบวนการสะสมแร่ธาตุ (Remineralization) ทำให้ชั้นนอกสุดของผิวเคลือบฟันมีความแข็งแรงป้องกันการละลายจากกรด (Gray 1966; Arends และ Christofferson, 1986) ประกอบกับมีการซ่อมแซมอย่างต่อเนื่องจากบริเวณใต้รอยผุ และส่งเสริมให้มีการสะสมกลับแร่ธาตุที่ผิวบนอกสุดด้วย (Silverstone, 1968; Moreno และ Zahradnik, 1974; Margolis และ Moreno, 1985, Featherstone และคณะ, 1978)

การป้องกันฟันผุต้องอาศัยปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการแปรงฟัน การรับประทานอาหารที่ถูกวิธี การใช้สารฟลูออไรด์ การฉีกหลุมร่องฟันและการมารับการตรวจอย่างสม่ำเสมอ โดยจะกล่าวถึงปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ บทบาทของฟลูออไรด์ต่อกระบวนการสะสมกลับของแร่ธาตุ และผลของสารฉีกหลุมร่องฟันต่อการเกิดโรคฟันผุ

บทบาทของฟลูออไรด์ต่อกระบวนการการสะสมกลับของแร่ธาตุที่ผิวฟัน

ฟลูออไรด์ช่วยป้องกันฟันผุโดยเข้าไปจับกับผลึกอะพาไทท์ทำให้ผลึกละลายในกรดยากขึ้น นอกจากนี้ฟลูออไรด์จะยับยั้งกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุแล้ว ยังส่งเสริมให้เกิดกระบวนการการสะสมกลับแร่ธาตุได้อีกด้วย (Koulourides, 1990) โดยทั่วไปแล้วฟลูออไรด์เข้าสะสมในตัวฟันได้ตั้งแต่ระยะต้นของขบวนการสร้างฟัน หรือระยะก่อนฟันขึ้น (Pre-eruptive phase) จนถึงระยะการสะสมแร่ธาตุหลังฟันขึ้น (Post-eruptive phase) ในระยะก่อนฟันขึ้นนั้น Aasenden และ Peebles (1974) ศึกษาพบว่ากรณีที่ฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันมากขึ้นจะทำให้เกิดฟันผุลดลง แต่ยังไม่มียางานกลไกที่ทำให้ลดการเกิดฟันผุได้ชัดเจน (Nasir และคณะ, 1985; Retief และคณะ, 1987) ส่วนระยะหลังฟันขึ้น ฟลูออไรด์รวมตัวกับแคลเซียม (Calcium) และฟอสเฟต (Phosphate) เปลี่ยนผิวอะพาไทท์ให้เป็นฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Fluoridated hydroxyapatite) ซึ่งมีความต้านทานต่อกรดได้ดี (Koulourides, 1990; Featherstone และคณะ, 1983) แต่ขบวนการเกิดฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์เป็นขบวนการที่ใช้เวลานาน และต้องเป็นสภาวะที่มีฟลูออไรด์ในส่วนของเหลวที่ล้อมรอบฟันในขั้นตอนของขบวนการการสูญเสียและสะสมกลับของแร่ธาตุ (Demineralization-Remineralization Process)

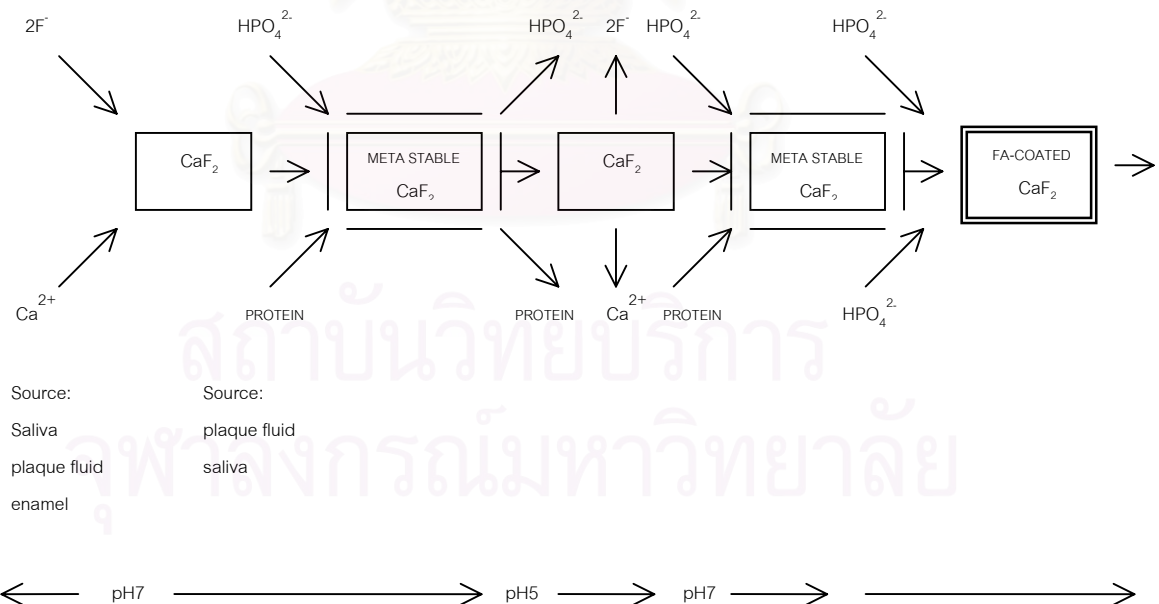
ฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Fluoridated hydroxyapatite) เกิดจากไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Hydroxyapatite) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของฟันที่มีสูตรเคมี คือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ได้รับ ฟลูออไรด์ไอออน (Fluoride ion) จากการใช้ฟลูออไรด์รูปแบบต่าง ๆ ฟลูออไรด์ไอออนเกิดการแลกเปลี่ยนกับไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl ion) ในผลึกไฮดรอกซีอะพาไทท์ ได้เป็นฟลูออไรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทท์ ซึ่งมีสูตรเคมีคือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_{(2-x)}F_x$ ฟลูออไรด์ไอออนที่เกาะกับผลึก อะพาไทท์จะมีระยะห่างจากฟอสเฟตในผลึกเป็นระยะทาง 1.36 อังสตรอม (Angstrom, A°) สันนิษฐานว่า ระยะห่างของไฮดรอกซิลไอออนกับฟอสเฟตที่มีระยะทาง 1.40 อังสตรอม (Angstrom, A°) ทำให้ผลึกมีขนาดเล็กลงและเกาะกันแน่นจึงมีความทนต่อกรดได้เพิ่มขึ้น ผิวเคลือบฟันจึงมีการละลายลดลง

ฟลูออไรด์ไอออนในสารละลายจะเข้าทำปฏิกิริยากับผลึกอะพาไทท์ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ และความอึดตัวของสารละลายแคลเซียมฟอสเฟตรอบตัวฟัน การได้รับฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำ เช่นการเติมฟลูออไรด์หนึ่งในล้านส่วนลงในสารละลายแคลเซียมและฟอสเฟต ทำให้การสะสมของแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันเพิ่มขึ้น และเมื่อทดสอบความแข็งผิวพบว่ามีความแข็งเพิ่มขึ้น (ten Cate และ Arends, 1977) ในช่วงระหว่างวันถ้าได้รับฟลูออ-

ไรต์ขณะที่สารละลายรอบตัวฟันมีระดับแคลเซียมและฟอสเฟตที่อิ่มตัว จะเกิดการรวมตัวกันสร้างเป็นฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Aoba, 1997) โดยปริมาณจะเล็กน้อยเพียงได้ขึ้นกับปริมาณฟลูออไรด์ที่ได้รับ (Varughese และ Moreno, 1981) แต่ถ้าเป็นการได้รับฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูง เช่น การใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ ผิวเคลือบฟันจะสร้างสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride-like material) ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากแคลเซียมฟลูออไรด์บริสุทธิ์ Rolla และ Saxgaard (1990) พบว่าสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์นี้มีอัตราการละลายตัวช้าในน้ำลาย เนื่องจากมีฟอสเฟตไอออนและโปรตีนถูกดูดซับอยู่ที่รูพรุนของผิวเคลือบฟัน เมื่อสภาวะในช่องปากเป็นกรดมากขึ้นสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์จะมีการละลายตัวมากขึ้น จึงเป็นแหล่งสะสมฟลูออไรด์ระยะยาว (Arends และคณะ, 1988; Ogaard และคณะ, 1992) ที่ถูกควบคุมด้วยสภาพความเป็นกรดต่างดังภาพ 2 การละลายตัวของสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์จะปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับผลึกอะพาไทท์เกิดเป็นฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ ดังภาพ 3

Source: external fluoride
intraoral reservoirs
enamel

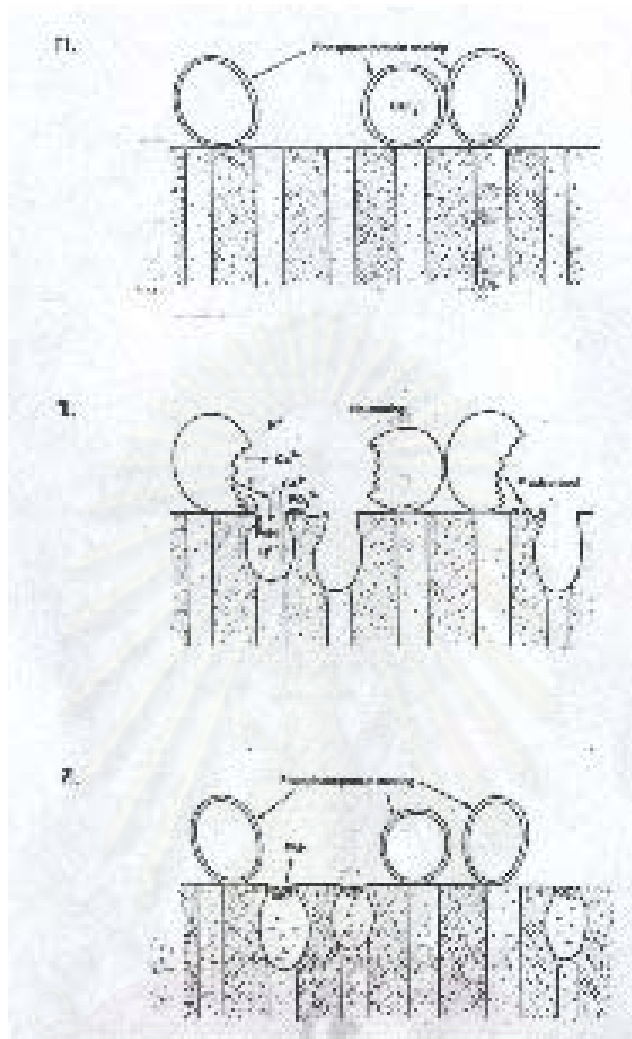
Source: plaque fluid
saliva



Source: Saliva
plaque fluid
enamel

Source: plaque fluid
saliva

ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกลไกการทำงานของสารคล้ายแคลเซียมฟลูออไรด์



ภาพที่ 3 กลไกในการป้องกันฟันผุของสารเคลือบเชื่อมฟลูออไรด์ (Ogaard และคณะ, 1992)

- ก. การสะสมของสารเคลือบเชื่อมฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันภายหลังการได้รับฟลูออไรด์เฉพาะที่ โดยมีฟอสเฟตไอออนและโปรตีนดูดซับอยู่บนผิว ซึ่งมีผลทำให้ลดอัตราการละลายของสารเคลือบเชื่อมฟลูออไรด์
- ข. ในขณะที่สภาวะในช่องปากมีสภาพเป็นกรดที่ค่าความเป็นกรด 4.5-5.5 สารเคลือบเชื่อมฟลูออไรด์จะมีการละลายตัวมากขึ้น ฟลูออไรด์ไอออนถูกปล่อยออกสู่สารละลายรอบตัวฟัน
- ค. หลังจากทีสภาวะช่องปากกลับสู่ค่าความเป็นกรดต่างปกติ อัตราการละลายของสารเคลือบเชื่อมฟลูออไรด์จะลดลง และมีการสะสมกลับของแร่ธาตุเกิดเป็นฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์

ผิวเคลือบฟันได้รับฟลูออไรด์จากหลายวิธี เช่น การดื่มน้ำที่มีฟลูออไรด์ การใช้น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ การเคลือบฟลูออไรด์โดยทันตแพทย์ และปัจจุบันมีการเติมฟลูออไรด์ลงในวัสดุที่ใช้บูรณะฟันและวัสดุเพื่องานทันตกรรมป้องกันด้วย ซึ่ง Fross และ Seppa (1990), Hicks และ Flaitz (1992) และ Tantbirojn และคณะ (1997) รายงานผลการใช้วัสดุบูรณะฟันที่ผสมฟลูออไรด์ ว่าสามารถป้องกันฟันผุในบริเวณพื้นผิวฟันข้างเคียงวัสดุที่ใช้บูรณะได้ ปัจจุบันได้มีการนำฟลูออไรด์มาเติมลงในสารฉีกหลุมร่องฟันด้วยเช่นกัน เพื่อหวังผลเสริมในการป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยวจากฟลูออไรด์ที่ใส่ลงไป

บทบาทของสารฉีกหลุมร่องฟันต่อการป้องกันฟันผุ

การฉีกหลุมร่องฟันด้วยสารฉีกหลุมร่องฟันในงานทันตกรรมสำหรับเด็กเพื่อประโยชน์ในการป้องกันฟันผุมีมานานกว่า 25 ปีแล้ว ในปีค.ศ. 1955 Buonocore เป็นบุคคลแรกที่เสนอวิธีการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเพื่อช่วยยึดอะคริลิกเรซิน (Acrylic resin) ให้ยึดติดกับผิวเคลือบฟัน และได้เสนอให้นำวิธีการนี้มาใช้ในงานทันตกรรมป้องกัน โดยใช้ฉีกหลุมร่องฟันด้านบดเคี้ยวเพื่อป้องกันฟันผุ ปัจจุบันชนิดของวัสดุฉีกหลุมร่องฟันที่ได้รับการยอมรับและใช้กันมาก ได้แก่ วัสดุประเภทเรซินชนิด Bis – GMA (Bisphenol A และ Glycidyl methacrylate) (Waggoner และ Seigal, 1996) ทั้งชนิดที่มีปฏิกิริยาแข็งตัวเอง (Self curing) และชนิดที่มีปฏิกิริยาแข็งตัวจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มองเห็นได้ (Visible light curing) โดยประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดติดของวัสดุกับผิวเคลือบฟันจากการรวบรวมผลการศึกษากับอัตราการยึดติดของสารฉีกหลุมร่องฟันเรซิน และการลดอัตราการเกิดฟันผุของ Hicks และ Flaitz (1999) พบว่า การฉีกหลุมร่องฟันจะป้องกันฟันผุได้ร้อยละ 100 ถ้าวัสดุฉีกหลุมร่องฟันนั้นยังคงยึดติดสนิทกับผิวเคลือบฟันทุกด้าน จากการติดตามผลเป็นเวลา 10 ปี และ 20 ปี พบว่าวัสดุฉีกหลุมร่องฟันลดอัตราการเกิดฟันผุได้ร้อยละ 68 และ 53 ตามลำดับ การนำสารฉีกหลุมร่องฟันมาฉีกทับฟันที่ผุ ไม่ทำให้อัตราการยึดติดแตกต่างกันจากการฉีกทับฟันที่ผุ (Handelman และคณะ, 1987)

สารฉีกหลุมร่องฟันยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการดัดแปลงโดยนำสารฟลูออไรด์มาเติมลงในสารฉีกหลุมร่องฟันชนิดเรซินในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟลูออไรด์ (fluoride compound) เกลือฟลูออไรด์ (fluoride salt) เป็นต้น ซึ่งไม่เพียงเกิดประโยชน์

ในแง่การป้องกันฟันผุในด้านบดเคี้ยวบริเวณหลุมร่องฟันเท่านั้น แต่ยังสามารถประโยชน์จากฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาอีกด้วย หากว่าการเติมฟลูออไรด์อาจมีผลกระทบต่อคุณสมบัติบางประการของสารผนึกหลุมร่องฟันซึ่งอาจมีผลต่อความสามารถในการป้องกันฟันผุ จึงมีการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. การรั่วซึมตามขอบ (Marginal leakage)

การศึกษาที่เกี่ยวกับการรั่วซึมของวัสดุผนึกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์มีหลายการศึกษาได้ผลต่างกันไป ดังเช่นการศึกษาของ Cooley และคณะ (1990) พบว่าการรั่วซึมตามขอบของสารผนึกหลุมร่องฟันเรซินผสมฟลูออไรด์กับไม่ผสมฟลูออไรด์แตกต่างกัน แต่ Park และคณะ (1993) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดย Cooley และคณะใช้ฟลูโรชีลด์ (Fluroshield) เทียบกับเฮลิโอซีล (Helioseal) ขณะที่ Park และคณะใช้ฟลูโรชีลด์ (Fluroshield) เทียบกับปริสมาชีลด์ (Prismashield) และเดลทอน (Delton)

2. ความแข็งแรงเฉือน (Shear strength)

ในแง่ความแข็งแรงเฉือนผลที่ได้ไม่สอดคล้องกัน ขึ้นอยู่กับแต่ละการศึกษาและชนิดของวัสดุที่ใช้ Park และคณะ (1993) พบว่าค่าความแข็งแรงเฉือนของวัสดุผนึกหลุมร่องฟันเรซินผสมฟลูออไรด์ชนิดฟลูโรชีลด์ (Fluroshield) ไม่มีความแตกต่างจากสารผนึกหลุมร่องฟันไม่ผสมฟลูออไรด์ชนิดปริสมาชีลด์ (Prismashield) แต่มีความแตกต่างกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์เดลทอน (Delton) โดยฟลูโรชีลด์และปริสมาชีลด์มีค่าความแข็งแรงเฉือนมากกว่าเดลทอน ส่วน Marcushamer และคณะ (1997) พบว่าความแข็งแรงเฉือนของของวัสดุผนึกหลุมร่องฟันเรซินผสมฟลูออไรด์ (Teethmate-F) ไม่มีความแตกต่างกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ (Helioseal)

3. อัตราการยึดติด (Retention rate)

เนื่องจากความสามารถในการยึดติดของสารผนึกหลุมร่องฟันมีผลโดยตรงต่อการป้องกันฟันผุ จึงมีการศึกษาทางคลินิกเกี่ยวกับอัตราการยึดติดหลายการศึกษา ทั้งหมดพบว่าอัตราการยึดติดของสารผนึกหลุมร่องฟันเรซินผสมฟลูออไรด์ไม่มีความแตกต่างกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ (Jensen และคณะ, 1990; Koch และคณะ, 1997; Vrbic, 1998) ยิ่งกว่านั้น Augusto do Rego และคณะ (1996) ยังรายงานว่าการฉีกฟันที่ผู้ช่วยสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ ถ้ากรอเอาส่วนฟันที่ผู้ช่วยจะทำให้อัตราการยึดติดและความแนบตามขอบของวัสดุดีขึ้น ไม่เกิดการผุซ้ำ

นอกจากการศึกษาคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ เพื่อประกอบการเลือกใช้ดังกล่าวแล้ว ยังมีการศึกษาถึงฟลูออไรด์ในสารฟีนิกหลุมร่องฟันเหล่านั้น ที่มีผลต่อขบวนการป้องกันฟันผุ ความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์เป็นคุณสมบัติอีกประการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุของสารฟีนิกหลุมร่องฟัน สารฟีนิกหลุมร่องฟันที่ผสมฟลูออไรด์ส่วนใหญ่ มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงสุดในช่วงแรก จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Garcia-Godoy และคณะ, 1997; Cooley และคณะ, 1990; Loyola - Rodriguez และ Garcia-Godoy, 1996) มีรายงานว่าฟลูโรชีลด์ (FluroShield) สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่อเนื่องได้ถึง 6 เดือน (Rock และคณะ, 1990) การศึกษาปริมาณฟลูออไรด์ที่ผิวเคลือบฟันหลังจากใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันที่ผสมฟลูออไรด์เทียบกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ Tanaka และคณะ (1987) พบว่าสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ทำให้มีปริมาณฟลูออไรด์ที่ผิวฟันลึก 10 ไมโครเมตรมากกว่าชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ถึงกว่า 3 เท่า และค่อย ๆ ลดลงที่ความลึกมากขึ้น

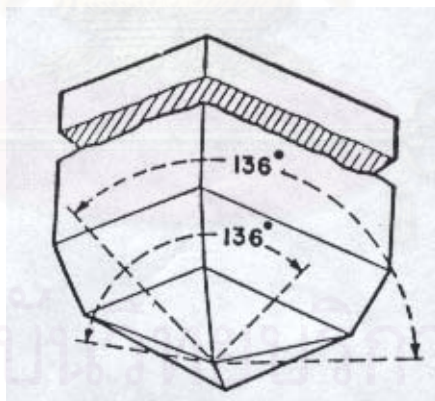
สารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินผสมฟลูออไรด์มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากการที่สารฟีนิกหลุมร่องฟันปิดทางเข้าของสารอาหารทำให้ปริมาณเชื้อลดลง และผลของสารฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมามีผลโดยตรงต่อเชื้อด้วย เช่นการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ (Teethmate-F) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดสเตรปโตคอคคัส-มิวแทน (*Streptococcus mutans*) ในจานเลี้ยงเชื้อได้ (Loyola - Rodriguez และ Garcia - Godoy, 1996) ส่วน Carlsson และคณะ (1997) รายงานว่าปริมาณเชื้อแลคโตเบซิลลัส (*Lactobacillus*) ในน้ำลายเด็กภายหลังได้รับการฟีนิกหลุมร่องฟันด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์มีปริมาณลดลง

สำหรับผลในการต้านทานการเกิดฟันผุ เมื่อฟีนิกหลุมร่องฟันด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์แล้วนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดฟันผุ จะช่วยให้ความลึกของรอยผุน้อยกว่าชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ (Jensen และคณะ, 1990) และยังป้องกันการเกิดการผุรอบ ๆ สารฟีนิกหลุมร่องฟันได้ทั้งในฟันแท้และฟันน้ำนม (Hicks และ Flaitz, 1992; 1998) ต่อมามีรายงานผลการฟีนิกทับฟันที่ผุด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ พบว่าการผุไม่มีการลุกลามต่อถ้าการยึดติดบริเวณขอบของสารเคลือบหลุมร่องฟันยังสมบูรณ์ดีอยู่ (Garcia-Godoy และคณะ, 1997; Handelman และคณะ, 1985) นอกจากนี้ข้อดีอีกประการของการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ คือฟลูออไรด์ที่ปล่อยเข้าไปในผิวเคลือบฟันอาจทำให้เกิดการสะสมของแร่ธาตุที่ฟันเพิ่มขึ้น อันจะเห็นจากความแข็งผิวที่เพิ่มขึ้น (ten Cate, และ Arends, 1977; White, 1987)

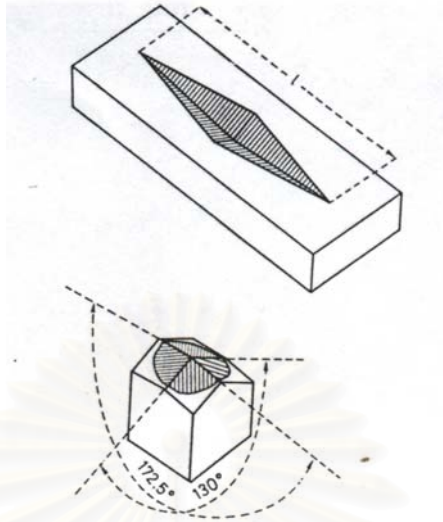
การวัดความแข็งผิวแบบจุลภาค

ความแข็งผิวเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับวัดการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน (ten Cate และ Arends, 1977; White, 1987; Featherstone และคณะ, 1983) การวัดความแข็งจุลภาค (Microhardness test) เป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกด (Indentor) กดลงบนพื้นผิว แรงกดที่ใช้มีค่าต่างกันไปแล้วแต่ความแข็งของผิวที่ต้องการศึกษา โดยที่พื้นผิวนั้นต้องได้รับการขัดจนเรียบเป็นมันเงาและไม่มีตำหนิ จึงจะได้ค่าที่เชื่อถือได้ และในขณะที่ทำการวัดต้องไม่มีแรงสั่นสะเทือนต่อตัวเครื่อง เพราะแรงสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้ (Koulourides, 1968)

หัวกดที่นิยมใช้ในการศึกษาทางทันตกรรมมี 2 ชนิดคือ หัวกดชนิดวิกเคอร์ (Vickers indenter) และหัวกดชนิดนูป (Knoop indenter) ซึ่งหัวกดทั้งสองชนิดมีลักษณะรูปทรงปิระมิดที่ทำมุมต่างกัน (Ryge และคณะ, 1961) หัวกดชนิดวิกเคอร์ทำมุม 136 องศาในทุกด้าน และหัวกดชนิดนูปทำมุม 172.5 และ 130 องศาตามภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 แสดงหัวกดชนิดวิกเคอร์ (Lysaght, 1949)

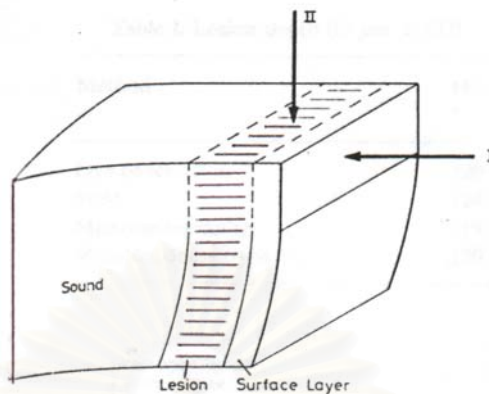


ภาพที่ 5 แสดงรอยกดและหัวกดชนิดรูป (Davidson และคณะ, 1974)

การวัดความแข็งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุของผิวพื้นบริเวณนั้น (Featherstone และคณะ, 1983) สำหรับการนำวิธีการวัดความแข็งมาใช้เป็นดัชนีบอกความรุนแรงของรอยโรค การฟันในระยะแรกสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. กดหัวกดในแนวตั้งฉากกับผิวเคลือบฟัน (ภาพที่ 6-I) ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าความแข็งผิว (Surface hardness) ซึ่งเป็นค่าโดยรวมของความรุนแรงของรอยโรคการฟันในบริเวณนั้น โดยทั่วไปจะทำการวัด 3-5 ตำแหน่งต่อชิ้นตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2. กดหัวกดในแนวขนานกับผิวเคลือบฟันหลังตัดชิ้นฟันตั้งฉากกับผิวเคลือบฟัน ผ่านบริเวณที่ต้องการทดสอบ (ภาพที่ 6-II) โดยจะทำการวัดตำแหน่งแรกที่จุดห่างจากผิวนอกของเคลือบฟันเข้ามาประมาณ 15-20 ไมโครเมตร แล้วทำการวัดตำแหน่งต่อ ๆ ไปตามระยะที่กำหนด ค่าที่ได้จะเป็นค่าความแข็งของฟันตามแนวตัดขวาง ดังนั้นค่าที่วัดได้จะมีความจำเพาะมากกว่าวิธีแรก ความรุนแรงของรอยโรคการฟันจะต้องทำการวิเคราะห์จากการอินทิเกรตค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของรอยฟัน



ภาพที่ 6 แสดงแผนภาพทิศทางการกดของหัวกด (Arends และคณะ, 1980)

I แสดงการกดในแนวตั้งฉากกับผิวเคลือบฟัน II แสดงการกดในแนวขนานกับผิวเคลือบฟัน

การใช้เครื่องวัดความแข็งแบบจุลภาคในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุในผิวเคลือบฟัน อยู่ภายใต้สมมติฐานว่า ความแข็งผิวฟันมีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุ โดยมีการศึกษาที่สนับสนุนสมมติฐานดังกล่าว คือ การเพิ่มขึ้นตัวอย่างผิวเคลือบฟันในสารละลายกรดอ่อนจะทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุออกจากผิวฟัน เกิดรูพรุนและมีค่าความแข็งผิวฟันลดลง (Koulourides และ Reed, 1964) ส่วนการที่ผิวฟันมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เกิดจากการมีแร่ธาตุรวมทั้งฟลูออไรด์มาสะสมในช่องว่างเหล่านี้เมื่อชั้นฟันอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม (Koulourides และคณะ, 1974; ten Cate และ Arends, 1977) แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการวัดความแข็งแบบจุลภาคในการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมกลับของแร่ธาตุที่ผิวฟัน คือ สามารถบอกได้เพียงว่ามี การสะสมของแร่ธาตุในรูพรุน ทำให้ชั้นตัวอย่างฟันมีความแข็งขึ้น แต่ไม่สามารถบอกได้ถึงองค์ประกอบทางเคมี หรือลักษณะรูปร่างของผลึกแร่ธาตุที่สะสมได้ (Koulourides, 1968)

Wilson และ Love (1995) ใช้ความแข็งผิวชนิดตัดขวางเป็นดัชนีในการศึกษาผลของวัสดุอีลาสโตเมอร์ชนิดที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride-releasing elastomer) ยึดเครื่องมือจัดฟัน โดยรายงานว่ามีอีลาสโตเมอร์ที่ผสมฟลูออไรด์ทำให้ผิวเคลือบฟันที่ห่างขอบวัสดุ 50 และ 75 ไมโครเมตร มีความแข็งมากกว่าชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ส่วน Tantbirojn และคณะ (1997) ใช้ความแข็งผิวชนิดตัดขวางเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer) ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุของผิวฟันในบริเวณข้างเคียงน้อยกว่าสารเรซินที่ใช้เคลือบผิวฟัน หลังผ่านขบวนการทำให้สูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing procedure) เช่นเดียวกับ Pereira

และคณะ (1998) ที่รายงานว่าการใช้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์อุดฟันทำให้ผิวเคลือบฟันบริเวณข้างเคียงมีความแข็ง และมีความต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุมากขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมานั้น ยังไม่มีผู้รายงานถึงการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์กับฟันที่เริ่มผุ ว่าทำให้มีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกับการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์หรือไม่ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่จะทำให้ใช้ความแข็งผิวของรอยโรคการผุในระยะแรกบริเวณข้างใต้วัสดุฟีนิกหลุมร่องฟันเป็นดัชนี โดยจำลองสภาวะทางคลินิกของฟันที่เริ่มผุในระดับที่ผิวเคลือบฟันยังไม่เป็นรูทะลุลงไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรเป้าหมาย

ผิวเคลือบฟันที่มีการผุในระยะเริ่มแรก

กลุ่มตัวอย่าง

ฟันกรามน้อยที่ถอนจากผู้ป่วยเนื่องจากการจัดฟัน ซึ่งปราศจากรอยแตก รอยผุ และ รอยอุดจำนวน 60 ซี่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1 เครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรชนิดความเร็วต่ำ (Accutom 50, Struers, Denmark)
ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพเครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรชนิดความเร็วต่ำ

1.2 เครื่องขัดพื้น (Metaserv 2000 Grinder and Polisher, Beuhler, USA.) ดัง
ภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องขัดพื้น

1.3 เครื่องวัดความแข็งแบบจุลภาค (Microhardness Tester, Mitutoyo MVK-G3
Akashi Corp. Japan) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพเครื่องวัดความแข็งผิวพื้น

- 1.4 กล้องสเตอริโอไมโครสโคป (SZH 10, Olympus Optical Co., Japan)
- 1.5 เครื่องฉายแสงซึ่งกำเนิดแสงสีฟ้า (Curing light XL 3000, 3M Co., USA.)

2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 ผงฟัมมิสปราศจากฟลูออไรด์ (Fluoride free pumice)
- 2.2 สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing solution) ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 ซึ่งเตรียมโดยมีส่วนผสมของกรดแลคติกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรดโพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 2 (Carbopol C907 B.F. Goodrich Company, USA.) และไฮดรอกซีอะพาไทท์ (BioRad, USA)
- 2.3 น้ำลายเทียมซึ่งมีส่วนประกอบของ แคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) โซเดียมฟอสเฟต (Sodium phosphate) และซอร์บิทอล (Sorbitol)
- 2.4 สารผนึกหลุมร่องฟันดังแสดงในภาพที่ 10
 - เดลทอน (Delton[®]) (Dentsply, USA) (Lot. #990022, Exp. 06-2001)
 - เดลทอนพลัส (Delton[®] plus) (Dentsply, USA) (Lot. #000511, Exp. 11-2001)
 - เฮลิโอซีล (Helioseal[®]) (Vivadent, USA) (Lot. #B36998, Exp. 08-2002)
 - เฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal[®] F) (Vivadent, USA) (Lot. #C15717, Exp. 07-2002)



ภาพที่ 10 แสดงรูปสารผนึกหลุมร่องฟันที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง (Specimen preparation)

1.1 ทำความสะอาดฟัน โดยการล้างคราบเลือดและน้ำลาย ชูดเศษเนื้อเยื่อรอบ ๆ จากฟันให้สะอาดขัดผิวเคลือบฟันด้วยผงฟิมผสมสนม น้ำ 15 วินาที ล้างน้ำให้สะอาด แล้วแช่ฟันไว้ในน้ำเกลือ

1.2 การเตรียมผิวเคลือบฟันเพื่อทำการทดลอง แบ่งผิวด้านข้างแก้ม (Buccal surface) ของตัวฟันเป็น 3 ส่วนในแนวตัดขวาง ทาผิวเคลือบฟันและส่วนรากฟันทั้งหมดด้วยน้ำยาทาเล็บ ยกเว้นหน้าต่างขนาด 2 x 2 ตารางมิลลิเมตร 2 ช่อง ขอบล่างของหน้าต่างอยู่ที่เส้นแบ่งส่วนกลางและส่วนปลายฟัน บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีผิวเคลือบฟันเป็นระนาบมากที่สุด ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงภาพหน้าต่างบนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1.3 นำชิ้นฟันมาส่องด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 40 เท่า ส่องบริเวณหน้าต่างทั้งสองเพื่อคัดเลือกชิ้นฟันที่ไม่มีรอยแตก รอยผุ และรอยอุดมาเตรียมชิ้นตัวอย่าง

1.4 ระหว่างรอทำการทดลอง ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจะจัดเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดเก็บความชื้น

2. การสร้างรอยผุจำลอง (Artificial carious lesion formation)

2.1 นำชิ้นฟันที่เตรียมไว้มาแช่ในสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing solution) เพื่อทำให้เกิดรอยผุเริ่มแรก (Incipient carious lesion) บนผิว

เคลือบพื้นในบริเวณหน้าต่างที่ไม่ได้ทาเคลือบด้วยยาทาเล็บ โดยแช่ชั้นพื้นแต่ละชั้นในสารละลายดังกล่าว ปริมาตร 16 มิลลิลิตรในขวดพลาสติกที่มีฝาปิดเป็นเวลา 9 วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

2.2 เมื่อครบกำหนดเวลา นำชั้นพื้นมาล้างด้วยน้ำปราศจากอ็อกโซนประมาณ 10 นาที แล้วเก็บชั้นพื้นไว้ในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดเก็บความชื้น

3. การสุ่มชั้นตัวอย่างเข้ากลุ่ม

3.1 แบ่งพื้น 60 ซึ่งเป็นสองชุด

ชุดแรกฉีกด้วยเดลทอน และ เดลทอนพลัส จำนวน 30 ซี

ชุดที่สองฉีกด้วยเฮลิโอสีล และ เฮลิโอสีลเอฟ จำนวน 30 ซี

3.2 ชั้นพื้นหนึ่งชั้นมีหน้าต่าง 2 ช่อง ใช้วิธีจับฉลากว่าจะฉีกหน้าต่างแรกด้วยสารชนิดใด เมื่อฉีกหน้าต่างแรกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้นชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ อีกหน้าต่างจะต้องรับการฉีกด้วยสารชนิดผสมฟลูออไรด์ หรือถ้าฉีกหน้าต่างแรกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้นชนิดผสมฟลูออไรด์อีกหน้าต่างจะต้องรับการฉีกด้วยชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์

กลุ่มควบคุม คือหน้าต่างที่ฉีกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้นที่ไม่ผสมฟลูออไรด์

กลุ่มทดลอง คือหน้าต่างที่ฉีกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้นผสมฟลูออไรด์

4. การฉีกผิวพื้นที่ฉีกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้น

ทำการฉีกผิวพื้นที่ฉีกด้วยสารฉีกหุ้มร่องพื้น (ภาพที่ 12) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตดังนี้

4.1 เดลทอน (Delton) และ เดลทอนพลัส (Delton plus)

4.1.1 ทากรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนักที่บริเวณหน้าต่างที่ละบาน

เป็นเวลา 30 วินาที

4.1.2 ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเป็นเวลา 30 วินาที

4.1.3 เป่าให้แห้งนาน 10 วินาทีด้วยกระบอกฉีด 3 ทางที่ปราศจากน้ำหรือน้ำมัน จากเก้าอี้ทำพื้น

4.1.4 ทาสารฉีกหุ้มร่องพื้นโดยใช้พู่กันเล็ก ๆ เป็นตัวนำวัสดุให้ทั่วหน้าต่าง

4.1.5 ฉายแสงจากเครื่องกำเนิดแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตรนาน 20 วินาที ให้ปลายหลอดนำแสงอยู่ใกล้วัสดุมากที่สุดโดยห่างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

4.2 เฮลิโอซีล (helioseal) และ เฮลิโอซีลเอฟ (helioseal-F)

4.2.1 ทากรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนักที่บริเวณหน้าต่างที่ละบานเป็นเวลา 30 วินาที

4.2.2 ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเป็นเวลา 30 วินาที

4.2.3 เป่าให้แห้งนาน 10 วินาทีด้วยกระบอกฉีด 3 ทางที่ปราศจากน้ำหรือน้ำมันจากเก้าอี้ทำฟัน

4.2.4 ทาสารผนึกหลุมร่องฟันโดยใช้พู่กันเล็ก ๆ เป็นตัวนำวัสดุให้ทั่วหน้าต่างรอบ 15 วินาที

4.2.5 ฉายแสงจากเครื่องกำเนิดแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตรนาน 20 วินาที ให้ปลายหลอดนำแสงอยู่ใกล้วัสดุมากที่สุดโดยห่างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

จากนั้นแช่ชิ้นฟันในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 12 แสดงภาพชิ้นตัวอย่างที่ได้รับการผนึกด้วยสารผนึกหลุมร่องฟัน

5. การเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อวัดความแข็งผิวฟัน

ตัดปลายรากฟันทิ้งไป แล้วเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับวัดความแข็งผิวในแนวหน้าตัดด้วยการตัดชิ้นตัวอย่างทางด้านบดเคี้ยวในแนวใกล้กลางไปทางไกลกลาง (Mesio-distal) ให้ต่ำกว่าขอบหน้าต่างบน 0.5 มิลลิเมตร ตัดในแนวตั้งฉากกับผิวเคลือบฟัน ดังภาพ 13



ภาพ 13.1



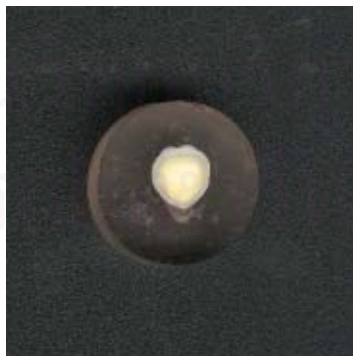
ภาพ 13.2

ภาพที่ 13 แสดงการตัดส่วนรากฟันและการตัดบริเวณด้านบดเคี้ยว

13.1 แสดงด้านข้างแก้มของซี่ตัวอย่าง

13.2 แสดงหน้าตัดของซี่ตัวอย่าง

นำซี่ตัวอย่างที่ตัดแล้ว ฝังลงในกระบอกลวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตรด้วยเรซินอีพอกซีชนิดบ่มด้วยตัวเองกระบอกละ 1 ซี่ดังภาพที่ 14 แล้วขัดผิวหน้าตัดด้านใกล้เคียงที่ถูกตัดออกให้เรียบด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ โดยใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 320, 600 และ 1200 ตามลำดับ ตามด้วยการใช้ผ้าสักหลาดและผงแกมมาอะลูมินา ขนาด 0.05 ไมโครเมตรจนได้ผิวเป็นมัน



ภาพที่ 14 แสดงการฝังซี่ตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความแข็ง

6. การวัดค่าความแข็งผิวฟัน

ขั้นตอนอย่างนี้จะถูกลบชื่อกลุ่มที่ติดอยู่โดยผู้ช่วยทันตแพทย์และใส่ตัวเลขแทน เพื่อไม่ให้ผู้วัดซึ่งเป็นผู้เดียวตลอดการศึกษาทราบว่าชิ้นฟันที่วัดอยู่ในกลุ่มทดลองใด เป็นการลดอคติที่อาจเกิดขึ้นแล้วทำการวัดความแข็งผิวในแนวหน้าตัดด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบจุลภาค (Microhardness tester) จุดที่วัดจะต้องพ้นจากจุดที่ลึกที่สุดของสารฟลักซ์ที่แทรกลงไปในปริซึมของเคลือบฟันเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแท้จริงของเคลือบฟัน การวัดค่าความแข็งผิวฟันวิคเคอร์ในการทดลองนี้ ทำโดยการกดด้วยหัวกดวิคเคอร์ ด้วยแรง 5, 10 และ 25 กรัมเป็นเวลา 15 วินาทีในตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะได้รอยกดบนเคลือบฟันเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนซึ่งมีขอบคมชัดดังภาพที่ 15 ผู้วิจัยทำการวัดเส้นทแยงมุมของรอยกด จากนั้นเครื่องจะอ่านค่าความแข็งผิววิคเคอร์ (Vickers hardness number) โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{VHN (Vickers hardness number)} = \frac{F \times 1.89 \times 10^5}{d^2}$$

F = แรงที่ใช้กด (กรัม)

d = เส้นทแยงมุมของรอยกด (ไมโครเมตร)

ขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดหรือความลึกของรอยกดบนเคลือบฟันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณแร่ธาตุที่ผิวฟัน (Mineral content) (Koulourides และ Reed, 1964)

ระยะห่างจากผิวเคลือบฟัน (ไมโครเมตร)	แรงที่ใช้ในการกด (กรัม)
20	5
30	10
40	10
50	10
60	10
70	10
80	25
90	25
100	25
110	25

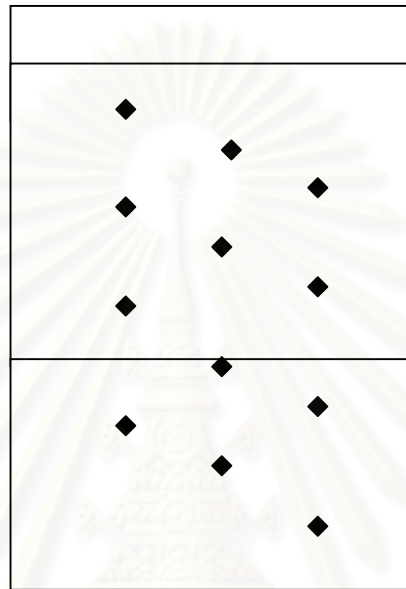
120

25

130

25

ตารางที่ 1 แสดงแรงที่ใช้กดผิวฟันในตำแหน่งต่าง ๆ



สารฟันนี้หลุมร่องฟัน

รอยผู้จำลอง

ลึกประมาณ 70 ไมโครเมตร

ผิวเคลือบฟันปกติ

ภาพที่ 15 แสดงตำแหน่งรอยกดที่ภาคตัดขวางของขึ้นตัวอย่าง

ตำแหน่งแรกของรอยกดอยู่ลึกจากผิวเคลือบฟัน 20 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นจุดที่ฟันจากจุดลึกสุดของเรซินแท่งที่แทรกลงมาในผิวเคลือบฟัน ซึ่งสามารถเห็นได้ก่อนการกดผิวฟัน จุดต่อ ๆ ไปจะวัดที่ความลึกทุก ๆ 10 ไมโครเมตรและเลื่อนไปด้านข้าง 30 ไมโครเมตร เพื่อป้องกันมิให้รอยกดอยู่ใกล้กันมากเกินไป

แต่ละตัวอย่างจะทำการวัดความแข็งสองบริเวณแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความแข็งวิกเคอร์ของแต่ละตำแหน่งความลึกจากผิวเคลือบฟัน

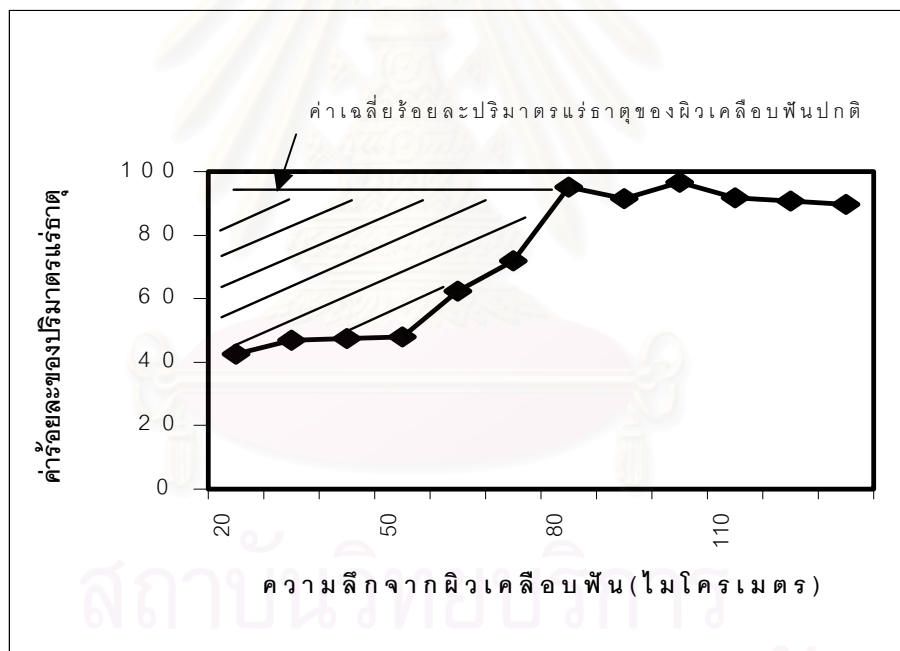
7. การเปลี่ยนค่าความแข็งผิวฟันให้เป็นร้อยละของการสูญเสียแร่ธาตุ (Volume percent mineral)

แปลงค่าความแข็งวิกเคอร์ให้เป็นความแข็งนूप (Knoop hardness number, KHN) ตามคำแนะนำของบริษัท (Zwick 3212 Instruction manual) โดยใช้การทำนายล่วงหน้า

(Forecast) ในโปรแกรมเอ็กเซล (Excel) ทำนายจากค่ามาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก แล้วนำค่าความแข็งแกร่งมาเปลี่ยนเป็นร้อยละของปริมาตรแร่ธาตุ (Volume percent mineral) โดยใช้สูตร

$$\text{Volume percent mineral} = 4.3 \sqrt{\text{KHN}} + 11.3 \quad (\text{Featherstone และคณะ, 1983})$$

ค่าที่ได้จะนำมาวาดเป็นรูปกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างร้อยละของปริมาตรแร่ธาตุกับความลึกจากผิวเคลือบฟัน ค่าปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุ (Mineral loss, ΔZ - Value) คำนวณจากการอินทิเกรต (Integrate) พื้นที่ระหว่างร้อยละปริมาตรแร่ธาตุกับความลึกจากผิวเคลือบฟันต่าง ๆ กับค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาตรแร่ธาตุของเคลือบฟันปกติซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใต้รอยผู้จำลองดังภาพที่ 16 การอินทิเกรตวิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป "WinVPM" (Tantbirojn, 1998) ดังแสดงในภาคผนวก



ภาพที่ 16 กราฟแสดงร้อยละของการสูญเสียแร่ธาตุ

ปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมแต่ละชุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลอาศัยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS 9.5 F/W 97 โดย

1. ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) และการวัดการกระจาย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
2. ใช้สถิติวิเคราะห์แปรที่ทดสอบ (Paired t-test) เพื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันที่ผู้ หลังฉีกด้วยสารฟลูออไรด์และชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ และชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์โดยเทียบระหว่างเคลือบฟันเคลือบฟันพลัส และเฮลิโอดีกับเฮลิโอดี-เอฟตามลำดับ
3. ใช้สถิติวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความแข็งวิกเคอร์ (α -Coefficient) (บุญชม ศรีสะอาด, 2538)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการศึกษา

การศึกษาผลของสารผนึกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์และไม่ผสมฟลูออไรด์ต่อปริมาณแร่ธาตุของรอยผุจำลองในระยะเริ่มแรก ในฟันกรามน้อยจำนวน 60 ซี่ โดยแบ่ง 30 ซี่แรกผนึกด้วยสารผนึกหลุมร่องฟันชนิดเดลทอน และเดลทอนพลัส และ 30 ซี่หลังผนึกด้วยเฮลิโอซีล และเฮลิโอซีลเอฟ ในขั้นแรกของการวิเคราะห์ผลการศึกษานำมาคำนวณค่าร้อยละของปริมาตรแร่ธาตุที่แปลงจากค่าความแข็งผิวฟัน มาทำเป็นกราฟที่ความลึกต่าง ๆ ดังภาพที่ 17

ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปของรอยผุจำลองได้แสดงไว้ในตาราง 2 และภาพที่ 18

สารผนึกหลุมร่องฟัน	จำนวนตัวอย่าง (ตัวอย่าง)	Mean \pm SD ของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุ (VPM- μ m)
เดลทอน (Delton)	30	1422.70 \pm 441.46
เดลทอนพลัส (Delton-Plus)	30	1287.32 \pm 420.84
เฮลิโอซีล (Helioclear)	30	1222.78 \pm 284.49
เฮลิโอซีลเอฟ (Helioclear-F)	30	1164.77 \pm 266.79

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของรอยผุจำลองหลังผนึกด้วยสารผนึกหลุมร่องฟันเรซินชนิดต่าง ๆ

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุมาทดสอบทางสถิติเพียร์ที่เทส (Paired t-test) พบว่าค่าเฉลี่ยของเดลทอน กับเดลทอนพลัส และเฮลิโอซีลกับเฮลิโอซีลเอฟ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตาราง 3

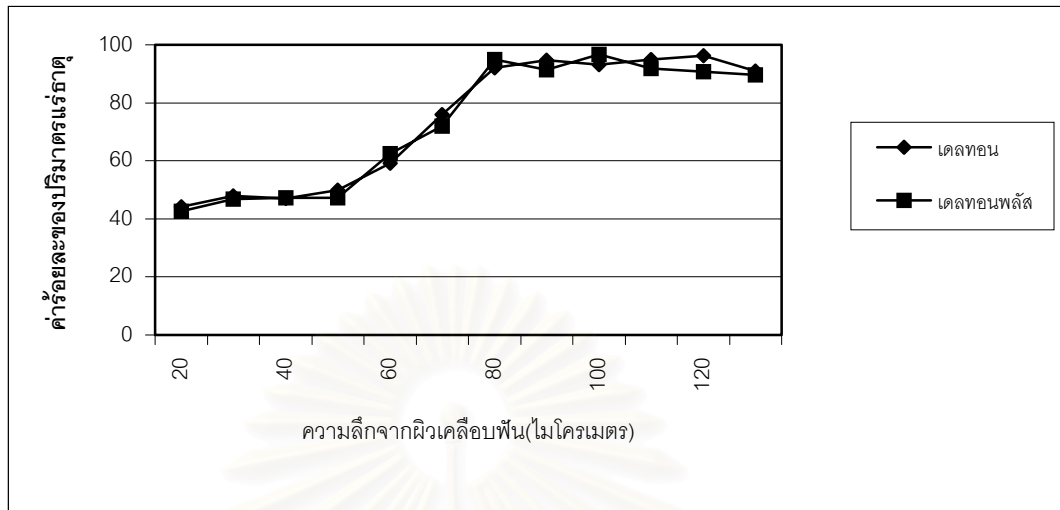
Sealant	Paired Differences			t	df	Sig.
	Mean	SD	SE			
Delton-Delton Plus	135.3790	363.5814	66.3806	2.039	29	.051
Helioseal-Helioseal F	58.0146	246.0749	44.9269	1.291	29	.207

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุ โดยใช้สถิติแพร์ที่เทส (Paired t-test)

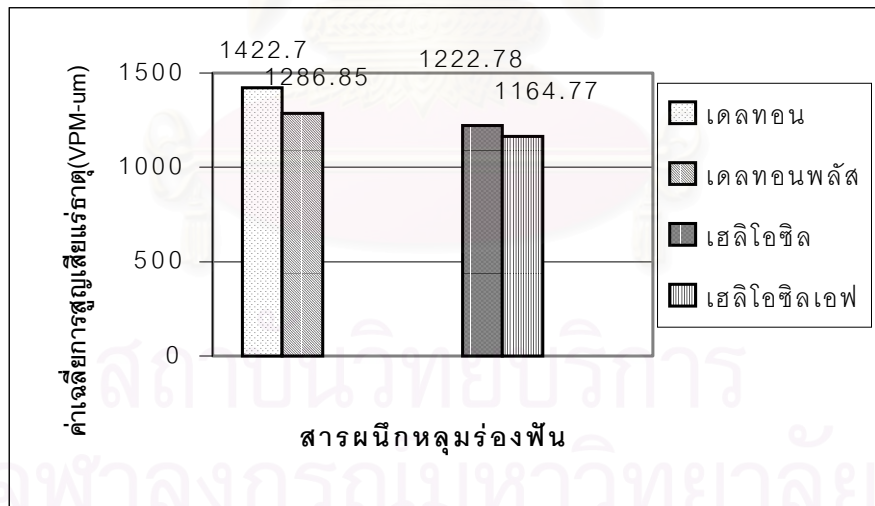
ภาพที่ 19-22 แสดงรอยกัดจากเครื่องวัดความแข็งผิวฟัน ลักษณะรอยกัดจะมีขนาดใกล้เคียงกันในกลุ่มเดลทอนกับเดลทอนพลัส และเฮลิโอซีลกับเฮลิโอซีลเอฟ

จากการใช้สถิติวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความแข็งวิกเคอร์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.9

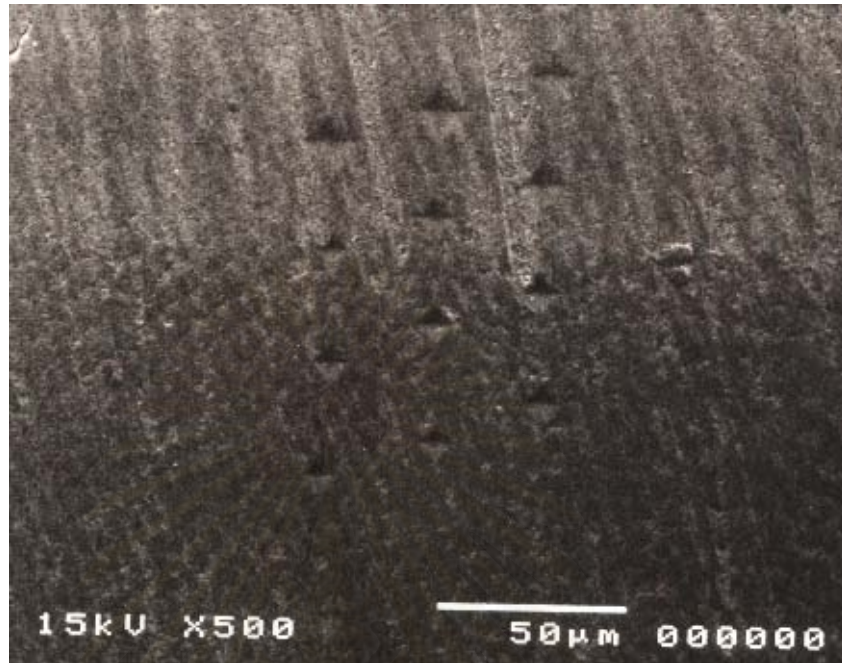
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



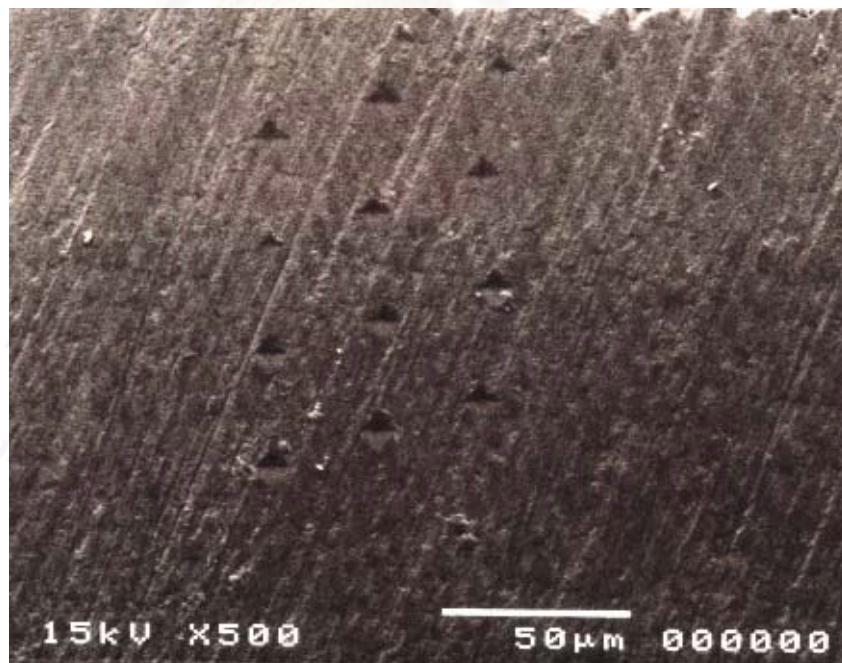
ภาพที่ 17 กราฟแสดงค่าร้อยละของปริมาณแร่ธาตุที่ระยะความถี่ต่าง ๆ



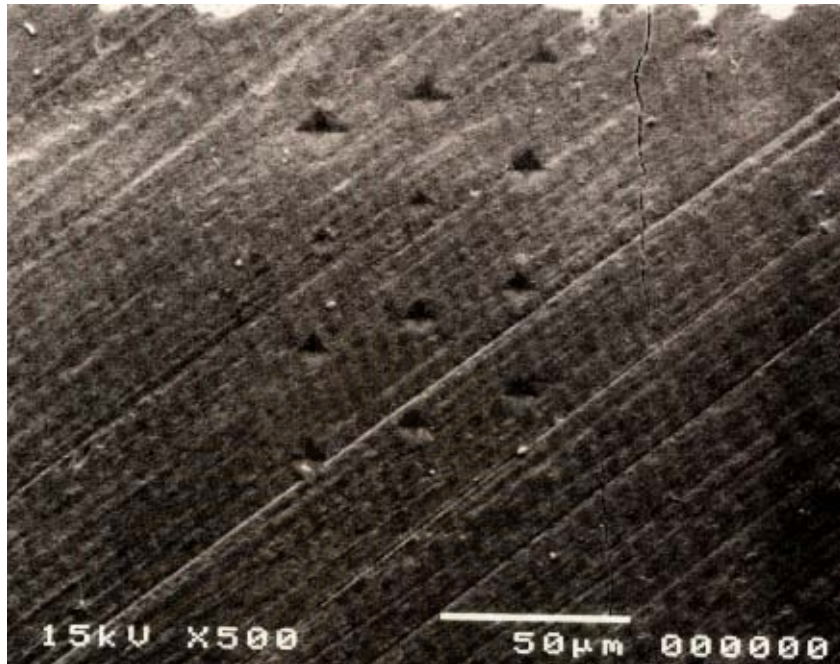
ภาพที่ 18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของการสูญเสียแร่ธาตุในวัสดุชนิดร่องฟันกลุ่มต่าง ๆ



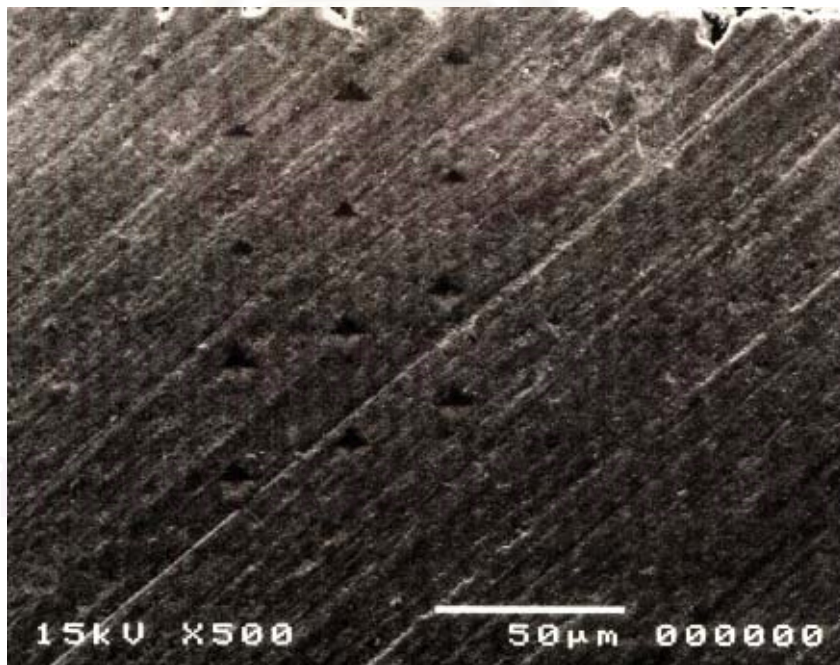
ภาพที่ 19 แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ฉนึ้กด้วยเดลทอน (Delton)



ภาพที่ 20 แสดงรอยกดบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบฟันผู้จำลองที่ฉนึ้กด้วยเดลทอนพลัส (Delton-Plus)



ภาพที่ 21 แสดงรอยกคบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบพื้นผุจำลองที่ฉนึกด้วยเฮลิโอสึล (Helioseal)



ภาพที่ 22 แสดงรอยกคบนภาคตัดขวางของผิวเคลือบพื้นผุจำลองที่ฉนึกด้วยเฮลิโอสึลเอฟ (Helioseal-F)

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อ เสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

ประสิทธิภาพที่ต้องการทางคลินิกของสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ในการใช้สำหรับฟันที่บรอมยู่ คือการกระตุ้นให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุในบริเวณนั้น การศึกษาที่สามารถจำลองสถานการณ์ดังกล่าวอย่างสมจริง ควรประกอบด้วย การวัดความแข็งแรงของฟันก่อนและหลังการฟีนิกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟัน เพื่อวิเคราะห์การสะสมกลับของแร่ธาตุ แต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยไม่สามารถวัดความแข็งแรงฟันก่อนฟันบรอมยู่ด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟัน เพราะเมื่อทำการตัดฟันเพื่อนำมาวัดความแข็งแรงฟันในแนวตัดขวางแล้ว ไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้อีก จึงทำการวัดปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย (Mineral loss) ในรอยฟันจำลอง ซึ่งคำนวณจากค่าความแข็งแรงฟันที่ความลึกต่าง ๆ หลังจากฟันบรอมยู่จำลองด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์เปรียบเทียบกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ เพื่อศึกษาว่าสารฟีนิกหลุมร่องฟันที่มีฟลูออไรด์เมื่อนำมาฟันบรอมยู่จำลองทำให้มีปริมาณแร่ธาตุในรอยฟันแตกต่างจากสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์หรือไม่ โดยมีสมมติฐานว่ารอยฟันจำลองก่อนฟันบรอมยู่ด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟัน มีการสูญเสียแร่ธาตุที่เท่าเทียมกันในฟันซี่เดียวกัน ดังนั้นความแตกต่างใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการฟีนิกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันที่ผสมและไม่ผสมฟลูออไรด์ เป็นผลตามมาจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่กระตุ้นให้มีการสะสมแร่ธาตุเพิ่มขึ้น จากการศึกษาในร่อง การแช่ฟันในสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Deminerizing solution) เป็นเวลา 9 วัน จะทำให้เกิดรอยฟันจำลองที่มีความลึกประมาณ 70 ไมโครเมตร สม่่าเสมอในบริเวณเคลือบฟันที่อยู่ระนาบเดียวกัน (White, 1987)

ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของการศึกษานี้ ได้แก่ ผิวเคลือบฟันตัวอย่างที่ผู้วิจัยใช้เป็นผิวเคลือบฟันด้านข้างแก้ม (Buccal surface) ซึ่งไม่ใช่ด้านที่ใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันจริง แต่เป็นด้านที่มีผิวเรียบ ซึ่งสามารถจำลองการบรอมยู่ในระยะเริ่มต้น และสามารถวัดค่าความแข็งแรงฟันได้วัสดุได้ดีกว่าด้านบดเคี้ยว (Occlusal surface) ทำให้ไม่สามารถขยายผลจากการทดลองนี้ไปยังสภาพการณ์จริงที่มีการบรอมยู่ในร่องฟันได้ แต่ผลการทดลองสามารถนำไปใช้ในกรณีที่มีการเกิดรอยฟันในระยะเริ่มต้นบนผิวฟันที่เรียบได้ โดยเฉพาะเมื่อมีผู้แนะนำให้ใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันมาฟันบรอมยู่ในระยะเริ่มต้น (White spot lesions) ในด้านเรียบ เพื่อป้องกันไม่ให้อรอยฟันนั้นลุกลามต่อ

ซึ่งมีการศึกษาพบว่ารอยผุที่ถูกฉนึกทับด้วยสารฉนึกหลุมร่องฟันจะไม่มี การลุกลามต่อไป (Goepferd และ Olberding, 1989)

ในปัจจุบันสารฉนึกหลุมร่องฟันที่มีจำหน่ายในประเทศไทยผลิตขึ้นจากหลายบริษัท เดล- ทอน (Delton) เป็นสารฉนึกหลุมร่องฟันเรซินที่นิยมมานานและมีใช้กันอย่างกว้างขวาง ในระยะ หลังมีการนำเข้าสารฉนึกหลุมร่องฟันอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น เฮลิโอซีล (Helioseal) เฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) และเดลทอนพลัส (Delton-Plus) เป็นต้น สองชนิดหลังมีการเติมฟลูออไรด์เพิ่มลง ไป ฟลูออไรด์ที่เติมลงในเดลทอนพลัส อยู่ในรูปของแบเรียมอะลูมิโนฟลูโอโรโบโรซิลิเกตทกลาส (Barium alumino fluoboro silicate glass) และโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride) ส่วน ในเฮลิโอซีลเอฟอยู่ในรูปของฟลูโอโรซิลิเกตทกลาส (Fluoro silicate glass) ซึ่งสารฉนึกหลุมร่อง ฟันทั้งสี่ชนิดได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา (American Dental Association ,ADA) (ADA, 1997; ADA, 1987) งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสารฉนึกหลุม ร่องฟันทั้งชนิดที่ผสมฟลูออไรด์และไม่ผสมฟลูออไรด์ ที่มีเครื่องหมายการค้าเดียวกัน ได้แก่ เดล- ทอนพลัส (Delton-Plus) กับเดลทอน (Delton) และ เฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) กับเฮลิโอซีล (Helioseal) เพื่อควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อ และมีได้เปรียบเทียบข้ามกลุ่มด้วย การ ที่ผู้วิจัยออกแบบการทดลองครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบเพียงครั้งละสองกลุ่ม เนื่องจากฟันแต่ละซี่มีผิว เคลือบฟันที่เป็นระนาบและอยู่ในระดับห่างปลายฟันเท่า ๆ กันในบริเวณจำกัด เหมาะเป็นผิวตัว อย่างเพียงสองตำแหน่งเท่านั้น บริเวณที่ห่างจากปลายฟันเท่ากันจะมีการสร้างตัวฟันและการ สะสมแร่ธาตุพร้อม ๆ กัน จึงถือได้ว่ามีปริมาณแร่ธาตุเริ่มต้นเท่ากัน (Purdell-Lewis และคณะ, 1976) การเลือกใช้ผิวฟันบริเวณอื่นจะทำให้การแบ่งชั้นตัวอย่างเข้ากลุ่มมีความผันแปรสูง ไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าค่าปริมาณแร่ธาตุเริ่มต้นเท่ากันจึงเปรียบเทียบกันได้ยาก

วิธีวัดปริมาณแร่ธาตุของเคลือบฟันมีมากมายหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการวัดความแข็งผิว (Microhardness test) การใช้ภาพถ่ายรังสีจุลภาค (Microradiograph) การใช้กล้องจุลทรรศน์ ชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized light microscope) เป็นต้น การวัดความแข็งผิวฟัน เป็นวิธีหนึ่ง ที่ง่าย ไม่ทำลายชิ้นตัวอย่างและเหมาะกับการทดลองที่ต้องการศึกษาในเชิงปริมาณ ส่วนวิธีที่ใช้ใน การศึกษาเกี่ยวกับแร่ธาตุบริเวณรอยผุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ ไม่สามารถแสดง ถึงการสูญเสียแร่ธาตุในเชิงปริมาณได้ (Featherstone และคณะ, 1983; Pimenta และคณะ, 1998) การวัดการได้รับหรือการสูญเสียแร่ธาตุในผิวเคลือบฟันสามารถหาได้จากการวัดความแข็ง ผิวฟัน และยังสามารถแปลงเป็นปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียได้ดังการวิจัยนี้ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่า เป็นแร่ธาตุชนิดใด

การวัดค่าความแข็งผิวนี้ หลังจากทำการกดด้วยหัวกดวิกเกอร์จนได้รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนแล้ว ผู้วิจัยจะเป็นผู้วัดขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดเพื่อให้เครื่องคำนวณความแข็งผิวในขั้นตอนวัดเส้นทแยงมุมผู้วิจัยทดสอบความแม่นยำโดยคำนวณค่าสหสัมพันธ์ของการวัดได้เท่ากับ 0.9 แสดงว่ามีความแม่นยำค่อนข้างสูง และการวัดนั้นจุดกดจุดแรกอยู่ลึกจากผิวเคลือบฟัน 20 ไมโครเมตร เป็นจุดที่พ้นจากจุดลึกสุดของเรซินแท้ที่แทรกลงมาในผิวเคลือบฟัน ซึ่งสามารถเห็นได้ก่อนการกดผิวฟัน และเป็นจุดที่พ้นจากชั้นผิวรอยยู่แล้ว (Surface zone) ดังปรากฏในภาพที่ 17 เนื่องจากการวัดความแข็งที่ชั้นผิวรอยยู่จะเป็นจุดที่ยังมีส่วนของเรซิน ค่าที่ได้จะไม่เป็นค่าของเคลือบฟันที่แท้จริง จุดต่อ ๆ ไปจะวัดที่ความลึกทุก ๆ 10 ไมโครเมตรและเลื่อนไปทางข้างห่างกัน 30 ไมโครเมตร เพื่อป้องกันรอยกดที่จะทับกัน แรงกดที่ใช้กดจุดแรกเท่ากับ 5 กรัม จุดที่ 2 ถึง 6 เท่ากับ 10 กรัม และจุดที่ 7 ถึง 12 เท่ากับ 25 กรัม ที่ผู้วิจัยใช้แรงต่างกันเนื่องจากในรอยยู่ยิ่งใกล้ผิวฟันจะมีค่าความแข็งผิวน้อยลงตามลำดับถ้าใช้แรงมากใกล้ผิวฟันจะทำให้รอยกดมีขนาดใหญ่เกินวัดได้ จากการวิจัยนำร่องพบว่าบริเวณที่ห่างจากผิวฟันเท่า ๆ กัน ถึงแม้ใช้แรงกดต่างกันก็จะคำนวณได้ความแข็งที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เครื่องวัดความแข็งจะคำนวณค่าความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers hardness number) โดยใช้ขนาดแรงที่กด และขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดที่วัดได้บนวัตถุ ความเชื่อถือได้ของการวัดความแข็งผิวของการศึกษานี้แสดงให้เห็นได้โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าร้อยละปริมาตรแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันปกติของตัวอย่างที่ผู้วิจัยใช้ทดลองซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 88.6 กับค่าปกติที่ Nikiforuk (1985) แสดงไว้เท่ากับร้อยละ 87 ซึ่งใกล้เคียงกัน

การหาค่าปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมวินวีพีเอ็ม (WinVPM) (Tantbiroj, 1998) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อคำนวณร้อยละของปริมาตรแร่ธาตุและปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียจากค่าความแข็งผิวนูน (Knoop hardness numbers) แต่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยซึ่งไม่มีหัวกดชนิดนูน ผู้วิจัยจึงได้ใช้การวัดความแข็งผิววิกเกอร์ (Vickers hardness) แล้วแปลงเป็นความแข็งผิวฟันโดยใช้คำสั่งฟอร์แคส (Forecast) ในโปรแกรมเอกเซล (Excel) ทำนายจากค่ามาตรฐาน ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเครื่องวัดความแข็ง (Zwick 3212 Instruction manual) จากนั้นนำค่าความแข็งผิวนูนมาหาค่าปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย ซึ่งการคำนวณหาร้อยละของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย โปรแกรมวินวีพีเอ็มจะเลือกจุดตัด (Cut off point) ที่จะแยกส่วนของรอยยู่กับส่วนของเคลือบฟันปกติ โดยกำหนดว่าจุดเริ่มต้นของรอยยู่คือจุดที่ค่าร้อยละปริมาตรแร่ธาตุลดลงมากกว่าค่าเฉลี่ยของเคลือบฟันปกติมากกว่าร้อยละ 10

จากผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียของรอยยู่จำลอง ภายหลังการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดเดลทอนพลัส (Delton-Plus) เท่ากับ 1287.32 และ

เดลทอน (Delton) เท่ากับ 1422.70 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปในรอยผุจำลอง ภายหลังการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) เท่ากับ 1164.77 และเฮลิโอซีล (Helioseal) เท่ากับ 1222.78 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน สำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปในรอยผุจำลอง ภายหลังการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดเดลทอน (Delton) เดลทอนพลัส (Delton-Plus) เฮลิโอซีล (Helioseal) และเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) ในการทดลองนี้พบว่า มีค่า 441.46, 420.84, 284.49 และ 266.79 ตามลำดับ การที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงอาจเกิดจากการที่ขึ้นตัวอย่างหรือฟันแต่ละซี่มีการสะสมของแร่ธาตุในเบื้องต้นต่างกัน (Grobler และ Louw, 1986) ซึ่งอาจเกิดจากมีประสบการณ์การได้รับฟลูออไรด์ต่างกันทำให้รอยผุที่เกิดมีความรุนแรงต่างกัน แต่ทั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้พยายามควบคุมการเกิดความแตกต่างของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยการใช้น้ำที่เดียวกันและในบริเวณที่มีการสะสมของแร่ธาตุเบื้องต้นใกล้เคียงกัน เป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ผู้วิจัยยังใช้การจับฉลากว่าจะให้ด้านใดเป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองในแต่ละชั้นทดลอง นอกจากนั้นผู้วิจัยยังวัดผลโดยไม่ทราบว่าจะให้ด้านไหนเป็นกลุ่มควบคุมหรือกลุ่มทดลอง เพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่จากการศึกษาค่าปริมาณแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันปกติในกลุ่มต่าง ๆ ผู้วิจัยพบว่ามีความแตกต่างในกลุ่มเฮลิโอซีล กับเฮลิโอซีลเอฟ ส่วนกลุ่มเดลทอน กับเดลทอนพลัสไม่มีความแตกต่างที่ค่า $P=0.05$ (ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มเฮลิโอซีล, เฮลิโอซีลเอฟ, เดลทอนและเดลทอนพลัสมีค่าเท่ากับ 87.10 ± 3.17 , 89.11 ± 2.28 , 89.39 ± 2.52 และ 88.81 ± 2.53 ตามลำดับ) ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อน ในขั้นตอนการวัดค่าความแข็งผิวฟันในกลุ่มเฮลิโอซีลและเฮลิโอซีลเอฟในชั้นตัวอย่าง

ส่วนผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแร่ธาตุในรอยผุจำลองภายหลังการฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ ไม่มีความแตกต่างกับชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอธิบายได้ว่าอาจเนื่องมาจากเกิดกระบวนการสะสมแร่ธาตุไม่มากพอภายใต้สภาวะของช่องปากถ้าฟลูออไรด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ มีปริมาณสูงจะรวมตัวกับแคลเซียมในรอยผุบนผิวเคลือบฟัน เกิดเป็นแคลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride) ในระหว่างวันแคลเซียมฟลูออไรด์จะละลายตัวออกมาในช่องปากจากการเปลี่ยนสภาวะความเป็นกรดต่าง ฟลูออไรด์ที่ออกมาอยู่ในช่องของเหลวรอบตัวฟันจะมีการรวมตัวกับแคลเซียมและฟอสเฟต (Phosphate) แลกเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออนเกิดเป็นฟลูออริเดทไฮดรอกไซด์อะพาไทท์ซึ่งเป็นผลึกที่มีขนาดเล็กเกาะกันแน่นขึ้น มีปริมาณแร่ธาตุเพิ่มขึ้นทนต่อการละลายตัวในกรดได้มากขึ้น (Aoba, 1997) แต่ถ้าฟลูออไรด์ปริมาณต่ำที่ถูกปล่อยออกมาอย่าง

ซ้ำ ๆ จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl ion) ในผลึกอะพาไทท์ (Apatite) ได้ เป็นฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Fluoridated hydroxyapatite) ดังที่มีรายงานปริมาณฟลูออไรด์ที่เพิ่มขึ้นบนผิวฟัน หลังได้รับการฉีกด้วยสารฉีกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ (Tanaka และคณะ, 1987; Capilouto และคณะ, 1990) แต่ปฏิกิริยาทั้งหลายนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ก็ต่อเมื่อผิวฟันมีการสัมผัสกับของเหลวรอบ ๆ ตัวฟันซึ่งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ทำให้เกิดการสะสมแร่ธาตุเข้ามาในเคลือบฟัน โดยอาศัยเวลานาน และปริมาณฟลูออไรด์ที่มากพอ (Koulourides, 1990; Featherstone และคณะ, 1983) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมกลับของแร่ธาตุ (Remineralization) แต่ในการศึกษานี้สารฉีกหลุมร่องฟันที่ยึดติดแน่นอยู่กับผิวเคลือบฟันเหนือรอยผุจำลองอาจขวางกั้นการเกิดกระบวนการดังกล่าว เช่น แคลเซียมฟลูออไรด์ไม่สามารถละลายตัวออกมาสู่น้ำลายเทียมที่ผู้วิจัยนำขึ้นตัวอย่างซ้ำได้ และขณะเดียวกันฟลูออไรด์ที่ถูกปล่อยจากสารฉีกหลุมร่องฟันสู่น้ำลายเทียมก็ไม่สามารถสะสมกลับสู่รอยผุจำลองที่อยู่ใต้สารฉีกหลุมร่องฟันได้เช่นกัน นอกจากนี้ระยะเวลาที่ทำการแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำลายเทียมหลังฉีกด้วยสารฉีกหลุมร่องฟันเป็นเวลาเพียง 7 วัน อาจไม่นานเพียงพอที่จะทำให้มีการสะสมคืนกลับของแร่ธาตุ ในปริมาณที่สามารถวัดความแข็งแล้วคำนวณออกมาในระดับที่ทำให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้

ข้อสังเกตที่น่าสนใจประการหนึ่งของการศึกษานี้ ได้แก่การที่ปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของกลุ่มสารฉีกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ทั้งสองชนิด มีแนวโน้มที่มีค่าต่ำกว่ากลุ่มสารฉีกหลุมร่องฟันที่ไม่ผสมฟลูออไรด์ ถึงแม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเดลทอนกับเดลทอนพลัส พบว่าค่านัยสำคัญของสถิติทดสอบ (Significance, Sig.) มีค่าเท่ากับ 0.051 มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด (p-value) ไว้ 0.05 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากการรวบรวมบทวิทยากรที่ผ่านมาพบว่าสารฉีกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ เช่น ทีธเมทเอฟ (Teethmate-F) ฟลูโรชีลด์ (Fluroshield) และเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในปริมาณสูง (Garcia-Godoy และคณะ, 1997; Loyola-Rodriguez และ Garcia-Godoy, 1996; Cooley และคณะ, 1990; Rock และคณะ, 1990) โดยเฉพาะในช่วง 1 - 2 วันแรก แต่ผู้วิจัยไม่พบรายงานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเดลทอนพลัส (Delton Plus) เนื่องจากการเกิดการสะสมกลับของแร่ธาตุต้องอาศัยฟลูออไรด์เป็นจักรกลที่สำคัญ ซึ่งในเดลทอนพลัสมีการเติมฟลูออไรด์ที่ไม่เหมือนกับเฮลิโอซีลเอฟ เดลทอนพลัสมีการเติมฟลูออไรด์ 2 ชนิด คือ แบเรียมอะลูมิโนฟลูโรโบโรซิลิเกตกลาส (Barium alumino fluoro boro silicate glass) และโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride) เฮลิโอซีลเอฟซึ่งมีฟลูออไรด์ชนิดเดียวคือ ฟลูโอโรซิลิเกตกลาส (Fluro silicate glass)

ประโยชน์ของการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์มีหลายประการ เช่น การศึกษาของ Jensen และคณะ (1990) พบว่าฟันที่ฉีกด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์เมื่อนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดการผุ จะเกิดการผุของผิวเคลือบฟันน้อยกว่าการใช้ชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ และถ้าเป็นการฉีกทับฟันที่ผุก็สามารถป้องกันการลุกลามของฟันที่ผุต่อด้วย (Garcia-Godoy และคณะ, 1997) และถ้ามีการหลุดของสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ ผิวฟันที่เคยได้รับการฉีกเป็นผิวฟันที่มีปริมาณฟลูออไรด์สูงจะเกิดการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุได้ ทำให้มีความต้านทานการละลายต่อกรดได้ดี ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการคือการป้องกันฟันผุรอบ ๆ วัสดุมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ (Hicks และ Flaitz, 1992; 1998; 2000) เนื่องจากบริเวณด้านข้างซึ่งไม่ถูกฉีกทับด้วยวัสดุสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุกับของเหลวรอบตัวฟันได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Dijkman และ Arends (1992) ที่รายงานว่า การผุตามขอบในบริเวณข้าง ๆ วัสดุบูรณะฟันที่ผสมฟลูออไรด์จะลดลง โดยมีหลายทางที่ผิวฟันได้รับฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะ เช่น ฟลูออไรด์จะผ่านคราบจุลินทรีย์ (plaque) เข้าไปบนผิวฟันข้างเคียง รวมทั้งฟลูออไรด์บางส่วนยังผ่านออกสู่น้ำลาย และสามารถเกิดการสะสมกลับเข้ามาบนผิวฟันได้ด้วย

ภายใต้สภาวะที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของรอยผุจำลองที่ถูกฉีกทับด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์และชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นดัชนีที่บ่งชี้ว่าสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ไม่ได้ช่วยให้เกิดการสะสมกลับของแร่ธาตุที่รอยผุจำลองนั้น เนื่องจากการสะสมกลับของแร่ธาตุต้องอาศัยปัจจัยหลายประการดังกล่าวมาแล้ว แต่ในทางคลินิกการฉีกทับรอยผุด้วยสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ และไม่ผสมฟลูออไรด์สามารถหยุดการลุกลามต่อของรอยผุได้จากการยึดติดที่ดีเท่า ๆ กัน (Jensen และคณะ, 1990; Koch และคณะ, 1997; Vrbic, 1998) และสารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์ยังทำให้ผิวเคลือบฟันนั้นมีปริมาณฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น (Tanaka และคณะ, 1987) ป้องกันการผุตามขอบวัสดุ (Hicks และ Flaitz, 1992; 1998) และผลจากฟลูออไรด์ที่ฉีกทับฟันผุจะทำให้จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ลดลง (Theilade และคณะ, 1977) และมีประโยชน์ในกรณีที่สารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์หลุดไป ผิวฟันที่มีฟลูออไรด์สูงจะสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุกับสภาพแวดล้อม และเกิดการสะสมกลับของแร่ธาตุได้ แต่สารฟีนิกหลุมร่องฟันเรซินชนิดผสมฟลูออไรด์มีราคาสูงกว่าชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ จึงต้องนำปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณาให้เหมาะสมในการเลือกใช้ด้วย

สรุปผลการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปของรอยผุจำลอง ภายหลังจากการฉีกด้วยสาร
ผงสีหลุมร่องฟันเรซินชนิดเดลทอน (Delton) เดลทอนพลัส (Delton-Plus) เฮลิโอซีล (Helioseal)
และเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) มีค่าเท่ากับ 1422.70 ± 441.46 , 1287.32 ± 420.84 , $1222.78 \pm$
 284.49 และ 1164.77 ± 266.79 VPM- μm ตามลำดับ

2. ค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปของรอยผุจำลอง ภายหลังจากการฉีกด้วยสาร
ผงสีหลุมร่องฟันเรซินชนิดเดลทอนพลัส (Delton-Plus) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเดลทอน (Delton) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p = 0.051$)

3. ค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปของรอยผุจำลอง ภายหลังจากการฉีกด้วยสาร
ผงสีหลุมร่องฟันเรซินชนิดเฮลิโอซีลเอฟ (Helioseal-F) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเฮลิโอซีล (Helioseal) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p = 0.207$)

ข้อเสนอแนะ

1. การฉีกทับรอยผุในระยะเริ่มต้นอาจไม่ใช่ทางเลือกช่วยให้รอยผุเกิดการสะสมกลับ
ของแร่ธาตุได้ จึงควรมีการศึกษาต่อไปทางคลินิกในแง่ของการฉีกทับรอยผุ หรือสร้างสภาพแวดล้อม
ให้เอื้ออำนวยต่อการเกิดการสะสมกลับทางอื่น เช่น การใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่โดยทันตแพทย์
การใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ควบคู่กับการควบคุมปริมาณคราบจุลินทรีย์ (Plaque control)
รวมทั้งการใช้วัสดุบูรณะฟันชนิดอื่น ๆ ที่ผสมฟลูออไรด์เพื่อช่วยลดการผุต่อในอนาคต แต่อย่างไร
ก็ดีการฉีกทับรอยผุทั้งหมดจะลดสภาวะการผุลงได้ ตราบเท่าที่สารสีหลุมร่องฟันยังคงฉีก
แน่นกับผิวเคลือบฟัน

2. เมื่อพิจารณาผลการวิจัยที่แสดงปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของกลุ่มสารสีหลุมร่อง
ฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มสารสีหลุมร่องฟันที่ไม่ผสมฟลูออไรด์
การเพิ่มเวลาหลังการฉีกทับรอยผุให้มากขึ้น อาจทำให้มีปริมาณแร่ธาตุในรอยผุเพิ่มขึ้นได้ เนื่อง
จากการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารสีหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ยังคงมีต่อเนื่องได้ตลอด
1 เดือน (Garcia – Godoy และคณะ, 1997) และบางชนิดมีได้ถึง 6 เดือน (Rock และคณะ,
1990) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณการปลดปล่อยลดลงอย่างมากก็ตาม

3. แนวทางในการศึกษาต่อถึงผลของสารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์เมื่อฉีกทับรอยผุ ควรจะคำนึงถึงปัจจัยในการสร้างสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดการสะสมกลับของแร่ธาตุได้เต็มที่ ได้แก่ การเผยผิวฟันข้างเคียงวัสดุให้สัมผัสของเหลวรอบตัวฟันซึ่งจะทำให้มีการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุทั้งในบริเวณผิวสัมผัสและบริเวณข้างเคียงที่อยู่ใต้วัสดุ รวมทั้งการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างในระหว่างวันด้วยด้วยการทดลองของ Jensen และคณะ (1990) ซึ่งถือว่าเป็นการสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการใช้สารฟีนิกหลุมร่องฟันชนิดผสมฟลูออไรด์ฉีกทับรอยผุได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สาธาณสุข, กระทรวง. 2538. รายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติครั้งที่ 4 พ.ศ. 2537 ประเทศไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 1), กรมอนามัย. กองทันตสาธารณสุข: กรุงเทพฯ.

บุญชม ศรีสะอาด. 2538. วิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือรวบรวมข้อมูล. (พิมพ์ครั้งที่ 2), บทที่ 6 วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย, หน้า 154-179. สุวีริยาสาส์น: กรุงเทพฯ

ภาษาอังกฤษ

Aasenden, R.; and Peebles, T.C. 1974. Effects of fluoride supplementation from birth on human deciduous and permanent teeth. Arch Oral Biol 19:321-326.

Adair, S.M. 1994. Epidemiology and Mechanisms of Dental Disease. In J. R. Pinkham, (2nd ed.), Pediatric Dentistry: Infancy Through Adolescence, pp. 175-176. Philadelphia: Lea&Febiger.

American Dental Association Council on Scientific Affairs. 1997. Dental sealants. J Am Dent Assoc 128: 485-488.

American Dental Association. 1987. Council on dental health and health planning: and council on dental materials, instruments, and equipment. Pit and fissure sealants. J Am Dent Assoc 144: 671-672.

Aoba, T. 1997. The effect of fluoride on apatite structure and growth. Crit Rev Oral Biol Med 8(2): 136-153.

Arends, J.; and Christoffersen J. 1986. The nature of early caries lesions in enamel. J Dent Res 65: 2-11.

Arends, J.; Reintsema, H.; and Dijkman, T.G. 1988. Calcium fluoride-like material formed in partially demineralized human enamel in vivo owing to the action of fluoridated toothpastes. Acta Odontol Scand 46:347-353.

Arends, J.; Schuthof, J.; and Jongebloed, W.G. 1980. Lesion depth and Microhardness indentations on artificial white spot lesion. Caries Res 14:190-195.

Augusto do Rego, M.; and Maximo de Araujo, M.A. 1996. A 2-year clinical evaluation of fluoride-containing pit and fissure sealants placed with an invasive technique. Quintessence Int 27: 99-103.

Capilouto, M.L.; DePaola, P.F.; and Gron, P. 1990. In vivo study of slow-release fluoride resin and enamel uptake. Caries Res 24: 441-445.

- Carlsson, A.; Petersson, M.; and Twetman, S. 1997. 2-year clinical performance of a fluoride-containing sealant in young schoolchildren at caries risk. Am J Dent 10: 115-119.
- Cooley, R.L.; McCourt, J.W.; Huddleson, A.M.; and Paul Casmedes, H. 1990. Evaluation of a fluoride-containing sealant by SEM, microleakage, and fluoride release. Pediatr Dent 12: 38-42.
- Dijkman, G.E.H.M.; and Arends, J. 1992. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: A quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26vol%. Caries Res 26: 351-357.
- Davidson, C.L.; Hoekstra, I.S.; and Arends, J. 1974. Microhardness of sound, decalcified and etched tooth enamel related to the calcium content. Caries Res 8: 135-144.
- Donly, K.J.; and Ruiz, M. 1992. In vitro demineralization inhibition of enamel caries utilizing an unfilled resin. J Clin Pediatr Dent 14: 22-24.
- Elderton, R.J. 1985. Management of early dental caries in fissures with fissure sealant. Br Dent J 158: 254-258.
- Featherstone, J.D.B.; Duncan, J.F.; and Cutress, T.W. 1978. Surface layer phenomena in in-vitro early caries-like lesions of human tooth enamel. Arch Oral Biol 23: 397-404.
- Featherstone, J.D.B.; Ten Cate, J.M.; Shariati, M.; and Arends, J. 1983. Comparison of artificial caries-like lesion by quantitative microradiography and microhardness profiles. Caries Res 17: 385-391.
- Fross, H.; and Seppa, L. 1990. Prevention of enamel demineralization adjacent to glass ionomer filling materials. Scand J Dent Res 98: 173-178.
- Garcia-Godoy, F.; Abarzua, I.; De Goes, M.F.; and Chan, D.C.N. 1997. Fluoride release from fissure sealants. J Clin Pediatr Dent 22: 45-49.
- Garcia-Godoy, F.; Summitt, J.B.; and Donly, K.J. 1997. Caries progression of white spot lesions sealed with an unfilled resin. J Clin Pediatr Dent 21: 141-143.

- Geopferd, S.J.; and Olberling, P. 1989. The effect of sealing white spot lesions on lesion progression in vitro. Pediatr Dent 11: 14-16.
- Gray, J.A. 1966. Kinetics of enamel dissolution during formation of incipient caries-like lesions. Arch Oral Biol 11: 397-421.
- Grobler, S.R.; and Louw, A.J. 1986. Enamel-fluoride levels in deciduous and permanent teeth of children in high, medium and low fluoride areas. Arch Oral Biol 31(7): 423-426.
- Groeneveld, A.; Van Eck, A.A.M.J.; and Backer Dirks, O. 1990. Fluoride in caries prevention: Is the effect pre- or post-eruptive? J Dent Res 69 (Spec Iss): 751-755.
- Handelman, S.L.; Leverett, D.H.; and Iker, H.P. 1985. Longitudinal radiographic evaluation of the progress of caries under sealants. J Pedodon 9: 119-126.
- Handelman, S.L.; Leverett, D.H.; Espeland, M.; and Curzon, J. 1987 Retention of sealants over carious and sound tooth surfaces. Community Dent Oral Epidemiol 15: 1-5.
- Hick, M.J.; and Flaitz, C.M. 1992. Caries-like lesion formation around fluoride releasing sealant and glass ionomer. Am J Dent 5: 329-334.
- Hick, M.J.; and Flaitz, C.M. 1998. Caries formation in vitro around a fluoride-releasing pit and fissure sealant in primary teeth. J Dent Child 65: 161-168.
- Hick, M.J.; and Flaitz, C.M. 1999. The acid technique in caries prevention: Pit and fissure sealants and preventive restoration. In J.R. Pinkham, (2nd ed.), Pediatric Dentistry: Infancy Through Adolescence, pp. 481-488. Philadelphia: Lea&Febiger.
- Hick, M.J.; and Flaitz, C.M. 2000. Occlusal caries formation in vitro: comparison of resin-modified glass ionomer with fluoride-releasing sealant. J Clin Pediatr Dent 24: 309-314.
- Holmen, L.; Thylstrup, A.; Featherstone, J.D.B.; Fredebo, L.; and Shariati, M. 1985. A scanning electron microscopic study of surface changes during development of artificial caries. Caries Res 19: 11-21.

- Jensen, M.E.; Wefel, J.S.; Triolo, P.T.; and Hammesfahr, P.D. 1990. Effects of a fluoride-releasing fissure sealant on artificial enamel caries. Am J Dent 3: 75-78.
- Jensen, O.E.; Billings, R.J.; and Featherstone, J.B.D. 1990. Clinical evaluation of fluoroShield pit and fissure sealant. Clin Prev Dent 12:24-27.
- Koch, M.J.; Garcia-Godoy, F.; Mayer, T.; and Staehle, H.J. 1997. Clinical evaluation of Heliobond F fissure sealant. Clin Oral Invest 1(4): 199-202.
- Koulourides, T. 1968. Experimental changes of enamel mineral density. In R. S. Harris (ed.), Art and Science of Dental Caries Research, pp. 355-378. New York: Academic Press.
- Koulourides, T. 1990. Summary of session II: Fluoride and the caries process. J Dent Res 69 (Spec Iss) : 558.
- Koulourides, T.; Phantumvanit, P.; Munksgaard, E.C.; and Housch, T. 1974. An intraoral model used for studies of fluoride incorporation in enamel. J Oral Pathol 3: 185-196.
- Koulourides, T.; and Reed, J.L. 1964. Effects of Calcium phosphate and fluoride ion on the rate of softening and dissolution of tooth enamel. Arch Oral Biol 9: 585-594.
- Loyola-Rodriguez, J.P.; and Garcia-Godoy, F. 1996. Antibacterial activity of fluoride release sealants on mutans streptococci. J Clin Pediatr Dent 20: 109-111.
- Lysaght, V.E. 1949. 136° Diamond pyramid hardness method. . In C.H. Wilson (ed.) Indentation hardness Testing. pp.114. Reinhold Publishing Corp. New York, N Y press.
- Marcushamer, M.; Neuman, E.; and Garcia-Godoy, F. 1997. Fluoridated and nonfluoridated unfilled sealants show similar shear strength. Pediatr Dent 19: 189-290.
- Margolis, H.C.; and Moreno, E.C. 1985. Kinetic and thermodynamic aspects of enamel demineralization. Caries Res 19: 22-35.
- Mertz-Fairhurst, E.J.; Schuster, G.S.; and Fairhurst, C.W. 1986. Arresting caries by sealants: results of clinical study. J Am Dent Assoc 122: 197-197.

- Moreno, E.C.; and Zahradnik, R.T. 1974. Chemistry of enamel subsurface demineralization *in vitro*. J Dent Res 53: 226-235.
- Nasir, H.I.; Retief, D.H.; and Jamison, H.C. 1985. Relationship between enamel fluoride concentration and dental caries in a selected population. Community Dent Oral Epidemiol 13: 65-67.
- Nikiforuk, G. 1985. Understanding dental caries. 1. Etiology and mechanisms. Basic and clinical aspects. G. Nikiforuk (ed.). The nature of tooth substance pp.92. Karger, Basel.
- Ogaard, B.; Cruz, R. and Rolla, G. 1992. Fluoride dentifrices: a possible mechanism. In G. Emberry, and G. Rolla (ed.). Clinical and Biological Aspects of Dentifrices, pp.305-312. Oxford: Oxford university press.
- Park, K.; Georgeseu, M.; Scherer, W.; and Schulman, A. 1993. Comparison of shear strength, fracture patterns and microleakage among unfilled, filled, and fluoride-releasing sealants. Pediatr Dent 15: 418-421.
- Pereira, P.N.R.; Inokoshi, S.; Yamada, T.; and Tagami, J. 1998. Microhardness of in vitro caries inhibition zone adjacent to conventional and resin-modified glass ionomer cements. Dent Mater 14: 179-185.
- Pimenta, L.A.F.; Fontana, U.F.; Cury, J.A.; Serra, M.C.; and Elderton, R.J. 1998. Inhibition of demineralization in vitro around amalgam restorations. Quintessence Int 29: 363-367.
- Purdell-Lewis, D.J.; Groeneveld, A.; and Arends, J. 1976. Hardness tests on sound enamel and artificially demineralized white spot lesions. Caries Res 10: 201-215.
- Retief, D.H.; Harries, B.E.; and Bradley, E.L. 1987. Relationship between enamel fluoride concentration and dental caries experience. Caries Res 21: 68-78.
- Ripa, L.W. 1983. Occlusal sealants: An overview of clinical studies. J Public Health Dent 43: 216-225.
- Rock, W.P.; Perry, F.H.; and Smith, A.J. 1996. A comparative study of fluoride-releasing composite resin and glass ionomer material used as fissure sealants. J Dent 24: 275-280.

- Rohr, M.; Makinson, O.F.; and Burrow, M.F. 1991. Pit and fissures: Morphology. J Dent Child 57: 11-18.
- Rolla, G, and Saxegaard, E. 1990. Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. J Dent Res 69(Spes Iss): 780-785.
- Ryge, G.; Foley, D.E.; and Fairhurst, C.W. 1961. Micro-indentation hardness. J Dent Res 40: 1116-1126.
- Silverstone, L.M. 1968. The surface zone in caries and in caries-like lesions produces in vitro. Bri Dent J 20: 145-157.
- Tanaka, M.; Ono, H.; Kadoma, Y.; and Imai, Y. 1987. Incorporation in human enamel of fluoride slowly released from sealant in vivo. J Dent Res 66: 1591-1593.
- Tantbirojn, D. "Surface modulation of dental hard tissues." (Doctoral dissertation, Graduate School, University of Minnesota, 1998): p190-195.
- Tanbirojn, D.; Douglas, W.H.; and Versluis, A. 1997. Inhibitive Effect of a Resin-Modified Glass Ionomer Cement on Remote Enamel Artificial Caries. Caries Res 31: 275-280.
- ten Cate, J.M.; and Arends, J. 1977. Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. Caries Res 11: 277-286.
- Theilade, E.; Fejerskov, O.; Migasena, K.; and Prachyabrued, W. 1977. Effect of fissure sealing on the microflora in occlusal fissures of human teeth. Arch Oral Biol 22: 251-259.
- Varughese, K.; and Moreno, E.C. 1981. Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluoride. Calcif Tissue Int 33: 431-439.
- Vrbic, V. 1999. Retention of a fluoride-containing sealant on primary and permanent teeth 3 years after placement. Prev Dent 30: 825-828.
- Waggoner, W.F. 1991. Managing occlusal surfaces of young permanent molars. J Am Dent Assoc 122: 72-76.
- Waggoner, W.F.; and Siegal, M. 1996. Pit and fissure sealant application: Updating the technique. J Am Dent Assoc. 127: 351-361.
- Weintraub, J.A. 1989. The effectiveness of pit and fissure sealants. J Public Health Dent 47: 317-330.

White, D.J. 1987. Use of Synthetic Polymer Gels for Artificial Carious Lesion Preparation. Caries Res 21: 228-242.

Wilson, T.G.; and Love, B. 1995. Clinical effectiveness of fluoride-releasing elastomers. II Enamel microhardness levels. Am J Orthod Dentofacial Orthop107: 379-381.

Oral Health Research Institute. 1997. Standard laboratory operating procedure. Preparation of Carbopol Demineralizing Solution. Indianapolis, Indiana



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแปลงค่าความแข็งผิวฟัน

การแปลงค่าความแข็งผิวฟันวิกเคอร์ (Vickers hardness number) ให้เป็นความแข็งผิวฟันนूप (Knoop hardness number) ใช้คำสั่งการทำนายล่วงหน้า (forecast) ในโปรแกรมเอกเซล (Excel) ดังนี้

1. เลือกเมนูฟังก์ชัน (function) แล้วเลือกคำสั่งการทำนายล่วงหน้า (forecast)
2. ใส่ค่าความแข็งผิวฟันวิกเคอร์ที่ต้องการแปลงเป็นตัวแปร X
3. ใส่ค่าความแข็งผิวฟันวิกเคอร์ที่ทราบเป็นตัวแปร X'S
4. ใส่ค่าความแข็งผิวฟันนूपที่ทราบเป็นตัวแปร Y'S
5. จะได้ค่าความแข็งผิวฟันนूपที่ต้องการทราบทันทีดังตัวอย่าง

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the FORECAST function dialog box open. The dialog box displays the following information:

- Formula: =FORECAST(312,H12:H23,G12:G23)
- Known_x's: H12:H23
- Known_y's: G12:G23
- Result: 327.4654639

The background spreadsheet shows the following data:

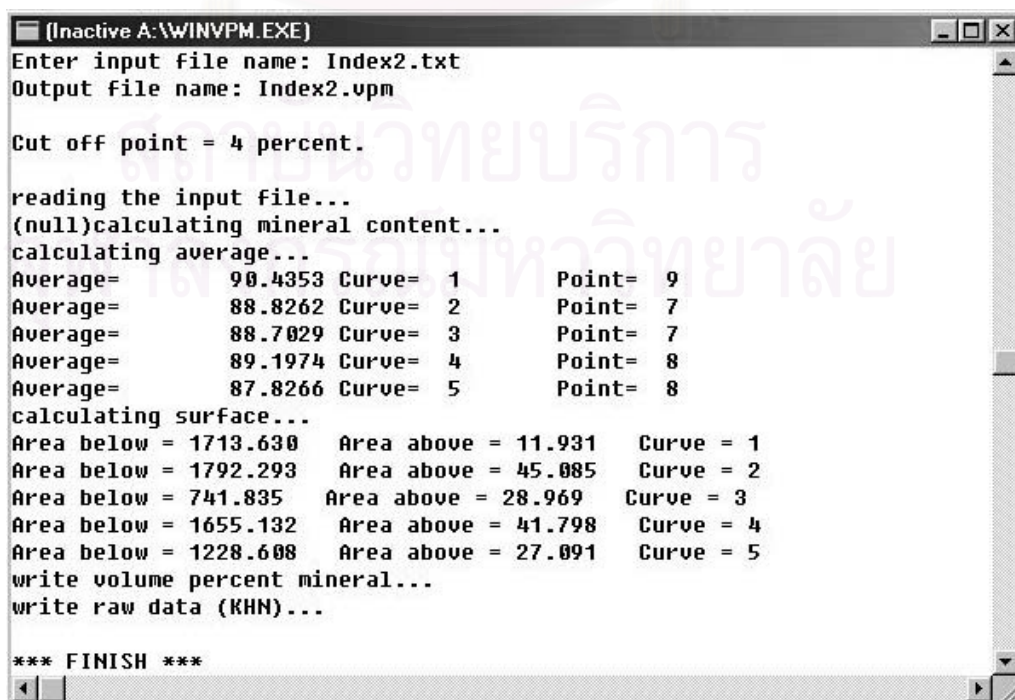
X (Vickers)	Y (Knoop)
100	107
200	216
300	309
400	412
500	528
600	636
700	735
800	822
900	895
95	107
90	102
85	97

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวินวีพีเอ็ม 'Win VPM'

1. เตรียมข้อมูลป้อนโปรแกรมโดยใช้นามสกุล .txt ข้อมูลที่เตรียมให้เรียงลำดับบนลงล่างจากระยะห่าง 20, 30,.....,130 ไมครอนจากผิวพื้น โดยคำนวณทีละ 5 กลุ่ม ดังตัวอย่าง

Distance	group 1	group 2	group 3	group 4	group 5
20	58.16	51.49	131.5	44.32	101.73
30	68.84	57.65	218.37	67.96	156.24
40	106.14	57.96	201.7	86.65	170.39
50	162.31	102.4	221.9	143.32	168.37
60	189.38	210.29	280.49	226.45	208.27
70	227.46	227.97	252.71	239.58	181.5
80	320.39	311.81	336.05	278.98	266.86
90	275.44	308.27	311.81	350.24	314.84
100	349.18	314.33	313.32	351.7	300.7
110	315.85	357.26	321.91	323.42	306.25
120	348.68	336.05	350.19	299.69	340.6
130	341.61	323.93	311.81	317.36	322.01

2. การป้อนข้อมูลใส่ Win VPM.exe เมื่อเลือกโปรแกรม Win VPM แล้วใส่ชื่อแฟ้มข้อมูล .txt โปรแกรมจะทำงานโดยอัตโนมัติจนเสร็จ



```
(Inactive A:\WINVPM.EXE)
Enter input file name: Index2.txt
Output file name: Index2.upm

Cut off point = 4 percent.

reading the input file...
(null)calculating mineral content...
calculating average...
Average=      98.4353 Curve=  1      Point=  9
Average=      88.8262 Curve=  2      Point=  7
Average=      88.7029 Curve=  3      Point=  7
Average=      89.1974 Curve=  4      Point=  8
Average=      87.8266 Curve=  5      Point=  8

calculating surface...
Area below = 1713.630 Area above = 11.931 Curve = 1
Area below = 1792.293 Area above = 45.085 Curve = 2
Area below = 741.835 Area above = 28.969 Curve = 3
Area below = 1655.132 Area above = 41.798 Curve = 4
Area below = 1228.608 Area above = 27.091 Curve = 5

write volume percent mineral...
write raw data (KHN)...

*** FINISH ***
```

3. ผลที่ได้จากโปรแกรมจะแสดงข้อมูลดิบความแข็งผิวฟันรูป (Knoop hardness numbers), ร้อยละปริมาตรแร่ธาตุ (Volume percent mineral), ปริมาณแร่ธาตุที่สูงงเสีย คำนวณจากการอินที่เกรทพื้นที่เหนือเส้นกราฟ (ΔZ -Value, Total area) และค่าเฉลี่ยของร้อยละปริมาตรแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันปกติ (Group 1-5)

Data file name: Index2.txt

Average=	90.4353	Curve=	1	For points 9 to 12
Average=	88.8262	Curve=	2	For points 7 to 12
Average=	88.7029	Curve=	3	For points 7 to 12
Average=	89.1974	Curve=	4	For points 8 to 12
Average=	87.8266	Curve=	5	For points 8 to 12
Area below AV=	1713.63	Area above AV=	11.9306	Total Area = 1701.6994 Curve = 1
Area below AV=	1792.293	Area above AV=	45.0847	Total Area = 1747.2084 Curve = 2
Area below AV=	741.8349	Area above AV=	28.9686	Total Area = 712.8662 Curve = 3
Area below AV=	1655.1316	Area above AV=	41.7981	Total Area = 1613.3335 Curve = 4
Area below AV=	1228.6084	Area above AV=	27.0913	Total Area = 1201.5171 Curve = 5

Volume percent mineral:

Distance	Group 1	group 2	group 3	group 4	group 5
20	44.093	42.1553	60.6096	39.9265	54.6704
30	46.977	43.9489	74.8426	46.7483	65.0483
40	55.6004	44.0365	72.3691	51.327	67.4294
50	66.0824	54.8129	75.3541	62.778	67.0957
60	70.4746	73.6559	83.3157	76.0075	73.3557
70	76.1516	76.2243	79.6565	77.857	69.2304
80	88.2676	87.23	90.1262	83.1216	81.5442
90	82.6645	86.7978	87.23	91.7732	87.598
100	91.6513	87.5362	87.4136	91.9408	85.865
110	87.7203	92.5757	88.45	88.6307	86.55
120	91.5938	90.1262	91.7675	85.7397	90.658
130	90.7756	88.6916	87.23	87.9028	88.4619

Raw Data (KHN):

Distance	Group 1	group 2	group 3	group 4	group 5
20	58.16	51.49	131.5	44.32	101.73
30	68.84	57.65	218.37	67.96	156.24
40	106.14	57.96	201.7	86.65	170.39
50	162.31	102.4	221.9	143.32	168.37
60	189.38	210.29	280.49	226.45	208.27
70	227.46	227.97	252.71	239.58	181.5
80	320.39	311.81	336.05	278.98	266.86
90	275.44	308.27	311.81	350.24	314.84
100	349.18	314.33	313.32	351.7	300.7
110	315.85	357.26	321.91	323.42	306.25
120	348.68	336.05	350.19	299.69	340.6
130	341.61	323.93	311.81	317.36	322.01

การใช้โปรแกรมแปลงค่าความแข็งผิวฟันรูปเป็นปริมาณแร่ธาตุ

Custom program for the calculation of Volume Percent Minerals and ΔZ -values from Microhardness experiment.

โปรแกรม 'Win VPM' เป็นโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณแร่ธาตุจากค่าความแข็งผิวฟันรูป (Knoop hardness numbers) ดังแสดงข้างล่าง ร้อยละปริมาตรแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันปกติจะถูกเฉลี่ยจากค่าความแข็งผิวฟันปกติที่อยู่ใต้รอยผุ ซึ่งมีความผันแปรน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย (ΔZ -Value) ถูกคำนวณจากการอินทิเกรตพื้นที่ระหว่างกราฟปริมาตรแร่ธาตุของรอยผุกับค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาตรแร่ธาตุของผิวเคลือบฟัน

```
/* Volume Percentage Mineralisation and Delta Z for Enamel (Versluis, October 19, 1995)*/
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

double surface(double a, double b, double c, double d, double p, double q);
double tri_surface(double a, double b);
double distance(double x1, double y1, double x2, double y2);
double mineral(double x);

FILE *fr, *fw;

int i, j, l, no, k;
int colum;
double real_average, average, sum, criterion, division, area_below, area_above;
double x, x1, x2, y1, y2, y0, x3;
double a, b, c, d, p, q;
double A[50][7], Y[7];
char name1[12];
char name2[12];
char *name3;
char ch;
char *title;

void main(void)
{
    printf("Volume Percentage Mineralisation and Delta-Z\n\n");
    printf("*** START ***\n\n");

    printf("\nEnter input file name: ");
    fscanf(stdin, "%s", name1);
    fscanf(stdin, "%*c");
    if (strstr(name1, ".") != '\0')
    {
        name3 = strstr(name1, ".");
        k = strlen(name1);
        l = strlen(name3);
        strncpy(name2, name1, k-l);
    }
    else { strcpy(name2, name1); }
    strcat(name2, ".vpm");

    if ((fr = fopen(name1, "r")) == NULL)
    {
        printf("cannot open file %s\n", name1);
        exit(1);
    }
}
```

```

for (i=1; i<no; i++){
    x1=A[i-1][0];
    y1=A[i-1][j];
    x2=A[i][0];
    y2=A[i][j];
    y0=Y[j];
    a=distance(x1,y1,x2,y2);
    b=distance(x2,y2,x2,y0);
    c=distance(x2,y0,x1,y0);
    d=distance(x1,y0,x1,y1);
    p=distance(x2,y2,x1,y0);
    q=distance(x1,y1,x2,y0);
    if (y1<=y0 && y2<=y0)
    {
        area_below=area_below+surface(a,b,c,d,p,q);
    }
    else
    {
        if (y1>y0 && y2>y0)
        {
            area_above=area_above+surface(a,b,c,d,p,q);
        }
        else
        {
            if (y1>y0 && y2<=y0)
            {
                x3=(y0+(y2*x1-y1*x2)/(x2-x1))*((x2-x1)/(y2-
y1));
                a=distance(x1,y0,x3,y0);
                b=distance(x1,y1,x1,y0);
                c=distance(x3,y0,x2,y0);
                d=distance(x2,y2,x2,y0);
                area_above=area_above+tri_surface(a,b);
                area_below=area_below+tri_surface(c,d);
            }
            else{
                if (y1<=y0 && y2>y0)
                {
                    x3=(y0+(y2*x1-y1*x2)/(x2-x1))*((x2-
x1)/(y2-y1));
                    a=distance(x1,y0,x3,y0);
                    b=distance(x1,y1,x1,y0);
                    c=distance(x3,y0,x2,y0);
                    d=distance(x2,y2,x2,y0);

                area_below=area_below+tri_surface(a,b);
                area_above=area_above+tri_surface(c,d);
            }
        }
    }
}
printf("Area below = %5.3lf Area above = %5.3lf Curve = %i\n",
area_below,area_above,j);
fprintf(fw,"Area below AV=\t%6.4lf\tArea above AV=\t%6.4lf\tTotal Area
=\t%6.4lf\tCurve = %i\n", area_below,area_above,area_below-area_above,j);
}
printf("write volume percent mineral...\n");
fprintf(fw,"\n\nVolume percent mineral:\n");
rewind(fr);
ch='#';
while (ch != '\n')
{
    fscanf(fr, "%c", &ch);
    fprintf(fw,"%c", ch);
}
for(i=0; i<no; i++)
{

```


ตารางแสดงค่าความแข็งผิววิกเกอร์ (VHN),ค่าความแข็งผิวรูบ (KHN) และปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย (ΔZ) ของรอยย่นจำลองในระยะเริ่มแรกหลังจากฉีกด้วย เดลทอน(Delton) กับเดลทอนพลัส(Delton-Plus)

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
1	20	43.5	47.3	45.4	58.16	1701.70	48	49.4	48.7	61.49	1381.84
	30	59.2	46.8	53	68.84		97.4	61.6	79.5	92.61	
	40	65.7	120	92.9	106.14		95.3	83.5	89.4	102.61	
	50	160	137	148.5	162.31		153	102	127.5	141.09	
	60	180	171	175.5	189.38		122	201	161.5	175.44	
	70	205	221	213	227.46		180	208	194	208.27	
	80	301	309	305	320.39		247	283	265	279.99	
	90	347	274	260.5	275.44		299	309	304	319.38	
	100	350	317	333.5	349.18		314	270	292	307.26	
	110	347	254	300.5	315.85		274	292	283	298.17	
	120	336	330	333	348.68		325	299	312	327.47	
	130	322	330	326	341.61		240	297	268.5	283.52	
2	20	34.9	42.6	38.8	51.49	1747.21	37.8	37.8	37.8	50.48	1622.13
	30	50.3	39.4	44.9	57.65		65.7	76.7	70.9	83.92	
	40	42.9	47.5	45.2	57.96		68.3	71.7	70	83.01	
	50	74.3	104	89.2	102.4		108	106	107	120.38	
	60	184	208	196	210.29		193	191	192	206.25	
	70	217	210	213.5	227.97		201	205	203	217.36	
	80	314	279	296.5	311.81		327	309	318	333.53	
	90	285	301	293	308.27		317	314	315.5	331	
	100	306	292	299	314.33		327	325	326	341.61	
	110	347	336	341.5	357.26		322	322	322	337.57	
	120	287	354	320.5	336.05		270	279	274.5	289.58	
	130	292	325	308.5	323.93		319	317	318	333.53	
3	20	108	128	118	131.5	712.87	128	120	124	137.56	575.04
	30	203	205	204	218.37		212	214	213	227.46	
	40	212	163	187.5	201.7		185	189	187	201.2	
	50	167	248	207.5	221.9		226	245	235.5	250.19	
	60	286	245	265.5	280.49		248	205	226.5	241.1	
	70	231	245	238	252.71		234	210	222	236.55	
	80	319	322	320.5	336.05		327	344	335.5	351.2	
	90	317	276	296.5	311.81		319	309	314	329.49	
	100	306	290	298	313.32		333	387	354.5	370.4	
	110	304	309	306.5	321.91		272	299	285.5	300.7	
	120	331	339	334.5	350.19		311	299	305	320.39	
	130	299	294	296.5	311.81		304	322	313	328.48	
4	20	35.5	28.1	31.7	44.32	1613.33	41.2	75.9	58.6	71.49	1201.62
	30	47.1	63	55.1	67.96		56.9	96.7	76.8	89.88	
	40	103	44.1	73.6	86.65		72.9	168	120.5	134.02	
	50	168	91.3	129.7	143.32		155	141	148	161.8	
	60	237	187	212	226.45		176	203	189.5	203.72	
	70	290	160	225	239.58		197	189	193	207.26	
	80	227	301	264	278.98		336	238	287	302.21	
	90	322	258	290	350.24		270	285	277.5	292.62	
	100	249	225	237	351.7		247	214	230.5	245.14	
	110	322	294	308	323.42		301	292	296.5	311.81	
	120	322	247	284.5	299.69		262	251	256.5	271.4	
	130	274	330	302	317.36		299	247	273	288.07	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
5	20	86.5	96.5	91.5	101.73	1201.52	117	69.5	93.3	106.55	992.78
	30	135	150	142.5	156.24		170	109	139.5	153.21	
	40	124	189	156.5	170.39		229	111	170	184.02	
	50	150	159	154.5	168.37		239	141	190	204.23	
	60	197	191	194	208.27		286	171	228.5	243.12	
	70	159	176	167.5	181.5		217	185	201	215.34	
	80	268	236	252	266.86		350	260	305	320.39	
	90	18	309	299.5	314.84		333	233	283	298.17	
	100	279	292	285.5	300.7		317	336	326.5	342.11	
	110	281	301	291	306.25		299	262	280.5	295.65	
	120	363	287	325	340.6		311	285	298	313.32	
	130	319	314	316.5	322.01		327	342	334.5	350.19	
	6	20	150	130	140		153.72	1026.11	112	154	
30		208	201	204.5	218.87	193	153		173	187.05	
40		269	199	234	248.67	182	168		175	189.07	
50		212	214	213	227.46	242	187		214.5	228.98	
60		217	224	220.5	235.04	234	231		232.5	247.16	
70		176	210	193	207.26	175	195		185	199.18	
80		281	268	274.5	289.58	235	247		241	255.74	
90		287	274	280.5	295.65	270	240		255	269.89	
100		311	292	301.5	316.86	233	270		251.5	266.35	
110		360	322	341	356.76	283	268		275.5	290.59	
120		314	297	305.5	320.9	270	292		281	296.15	
130		376	360	368	384.03	292	272		282	297.16	
7		20	50.5	33.0	41.8	54.47	1833.30		24.6	57.0	40.8
	30	51.1	50.3	50.7	63.51	43.1		58.5	50.6	63.61	
	40	74.7	58.2	66.5	79.47	65.7		73.8	69.8	82.81	
	50	132	73.3	102.7	116.04	91.9		91.3	91.6	103.83	
	60	176	138	157	170.89	162		133	147.5	161.3	
	70	248	219	233.5	248.17	229		212	221.5	235.04	
	80	319	301	310	325.45	290		262	276	291.1	
	90	292	342	317	332.52	309		342	325.5	340.1	
	100	294	342	318	333.53	290		311	300.5	315.85	
	110	311	357	334	349.69	366		336	251	366.86	
	120	339	369	354	369.89	314		366	340	355.75	
	130	357	357	357	372.92	333		322	327.5	343.12	
	8	20	52.4	58.9	55.7	68.56		1411.83	62.3	33.8	48.1
30		96.7	96.7	96.7	109.98	180	45.9		113	126.45	
40		93.3	98.8	96.1	109.37	132	74.7		103.4	116.75	
50		148	148	148	161.8	162	106		134	147.66	
60		167	171	169	183.01	221	197		209	223.42	
70		210	187	198.5	212.81	171	155		163	176.95	
80		228	252	240	254.73	243	249		246	260.8	
90		276	235	255.5	270.39	314	276		295	310.29	
100		270	292	281	296.15	268	260		264	278.98	
110		317	319	318	333.53	230	322		276	291.1	
120		272	268	270	285.04	283	260		271.5	286.55	
130		281	306	293.5	308.78	270	304		287	302.21	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
9	20	46.3	59.8	53.1	65.94	1809.56	52.0	61.8	56.9	69.78	1417.45
	30	60.9	83.5	72.2	85.23		104	125	114.5	127.96	
	40	63.0	97.4	80.2	93.31		129	83.5	106.3	119.68	
	50	64.5	138	101.3	114.63		129	145	137	150.69	
	60	111	189	150	163.82		189	197	193	207.26	
	70	208	189	198.5	212.81		203	208	205.5	219.88	
	80	336	325	330.5	346.15		270	344	307	322.41	
	90	322	297	309.5	324.94		344	317	330.5	346.15	
	100	339	369	354	369.89		304	347	3255	341.1	
	110	339	342	340.5	356.25		283	376	329.5	345.14	
	120	357	339	348	363.83		304	350	327	342.62	
	130	339	330	334.5	350.19		274	350	312	327.47	
	10	20	68.9	66.6	67.8		80.79	1243.64	91.8	50.5	
30		123	107	115	128.47	52.7	68.9		60.8	73.72	
40		140	108	124	137.56	98.1	129		113.6	127.05	
50		159	134	146.5	160.29	148	95.3		121.7	135.23	
60		212	176	194	208.27	231	201		216	230.49	
70		251	171	211	225.44	231	234		232.5	247.16	
80		327	272	299.5	314.84	266	347		306.5	321.91	
90		283	317	300	315.34	336	306		321	336.56	
100		317	247	282	297.16	314	336		325	340.6	
110		314	336	325	340.6	304	366		335	350.7	
120		336	297	316.5	332.01	283	350		316.5	332.01	
130		322	299	310.5	325.95	279	309		294	309.28	
11		20	95.5	108	101.8	115.13	1159.00		103	72.0	87.5
	30	155	148	151.5	165.34	133		109	121	134.53	
	40	105	160	132.5	146.14	156		116	136	149.68	
	50	193	137	165	178.97	170		152	161	174.93	
	60	184	180	182	196.15	182		168	175	189.07	
	70	283	187	235	249.68	254		203	228.5	243.12	
	80	317	297	307	322.41	272		281	276.5	291.61	
	90	342	243	242.5	257.26	309		325	317	332.52	
	100	357	247	302	317.36	317		354	335.5	351.2	
	110	301	322	311.5	326.96	342		294	318	333.53	
	120	311	325	318	333.53	309		301	305	320.39	
	130	266	325	295.5	310.8	306		319	312.5	327.97	
	12	20	81.0	59.3	70.2	83.21		1556.61	64.4	111	87.7
30		92.6	98.1	95.4	108.67	90.7	88.2		89.5	102.71	
40		90.0	128	109	122.4	88.2	86.4		87.3	100.48	
50		109	128	118.5	132	130	180		155	168.87	
60		160	263	211.5	225.95	171	182		176.5	180.59	
70		212	239	225.5	240.09	201	171		186	200.19	
80		281	258	269.5	284.53	309	285		297	312.31	
90		251	276	263.5	278.47	279	260		269.5	284.53	
100		207	290	248.5	263.32	294	245		269.5	284.53	
110		297	342	319.5	335.04	274	327		300.5	315.85	
120		339	304	321.5	337.06	297	336		316.5	332.01	
130		322	279	300.5	315.85	290	304		297	312.31	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				ΔZ
		VHN			KHN		VHN			KHN	
		1	2	mean			1	2	mean		
13	20	84.1	78.0	81.1	94.22	1786.99	73.9	57.9	65.9	78.87	1548.43
	30	93.3	110	101.7	115.03		58.5	87.0	72.8	85.84	
	40	131	82.4	1.6.7	120.08		100	84.6	92.2	105.54	
	50	97.4	100	98.7	112		102	113	107.5	120.89	
	60	135	159	147	160.79		123	182	152.5	166.35	
	70	197	197	197	211.3		160	239	199.5	213.82	
	80	319	264	291.5	306.76		252	327	289.5	304.74	
	90	256	309	287.5	302.72		301	219	260	274.94	
	100	281	252	266.5	281.5		327	274	300.5	315.85	
	110	242	245	243.5	258.27		254	281	267.5	282.51	
	120	319	264	291.5	306.76		327	285	306	321.4	
	130	344	344	344	359.79		354	268	311	326.46	
14	20	59.3	55.7	57.5	70.38	1522.56	46.0	93.6	69.8	82.81	1355.14
	30	140	90.0	115	128.47		65.3	153	109.2	122.61	
	40	143	109	126	139.58		102	140	121	134.53	
	50	219	140	179.5	193.62		131	176	153.5	167.36	
	60	156	162	159	172.91		171	203	187	201.2	
	70	160	199	179.5	193.62		217	125	171	185.03	
	80	168	238	203	217.36		299	342	320.5	336.05	
	90	285	256	270.5	285.54		287	311	299	314.33	
	100	333	299	316	331.51		344	258	301	316.35	
	110	342	325	333.5	349.18		294	357	325.5	341.1	
	120	216	327	271.5	286.55		360	297	327	342.62	
	130	333	306	319.5	335.04		299	306	302.5	317.87	
15	20	47.0	47.6	47.3	60.08	1200.45	33.0	44.7	38.9	51.59	1449.90
	30	90.7	54.5	72.6	85.64		103	76.7	89.9	103.11	
	40	168	101	134.5	148.16		118	148	133	146.65	
	50	195	112	153.5	167.36		159	208	183.5	197.66	
	60	180	239	210.5	224.94		175	191	183	197.16	
	70	263	297	280	295.14		242	205	223.5	238.07	
	80	292	262	277	292.11		279	306	292.5	307.77	
	90	294	262	278	293.12		301	342	321.5	337.06	
	100	274	344	309	324.44		247	285	266	281	
	110	363	366	364.5	380.5		292	301	296.5	311.81	
	120	331	287	308.5	323.93		336	292	314	329.49	
	130	279	325	302	317.36		357	336	346.5	362.32	
16	20	57.0	38.8	47.9	60.68	1400.82	43.8	43.2	43.5	56.24	2322.13
	30	91.9	71.1	81.5	94.63		53.3	62.3	57.8	70.69	
	40	118	64.2	91.1	104.32		51.4	53.3	52.4	65.23	
	50	127	58.8	92.9	106.14		74.3	66.1	70.2	83.21	
	60	137	56.6	96.8	110.08		96.0	98.1	97.1	110.38	
	70	104	106	105	118.36		93.9	88.8	91.4	104.63	
	80	238	216	227	241.6		182	198	190	204.23	
	90	274	216	245	259.79		242	225	233.5	248.17	
	100	264	236	250	264.84		242	201	221.5	236.05	
	110	249	220	234.5	249.18		247	294	270.5	285.54	
	120	252	198	225	239.58		309	297	303	318.37	
	130	299	220	259.5	274.43		292	322	307	322.41	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
17	20	41.2	25.8	33.5	46.14	2463.37	78.0	30.1	54.1	66.95	1318.00
	30	59.5	42.6	51.1	63.92		133	33.0	83	96.14	
	40	55.7	42.6	49.2	62		134	134	134	147.66	
	50	81.3	42.2	61.8	74.73		219	160	189.5	203.72	
	60	106	53.6	79.8	92.91		201	149	175	189.07	
	70	159	81.3	120.2	133.72		251	201	226	240.59	
	80	266	154	210	224.43		327	330	328.5	344.13	
	90	266	227	246.5	261.3		272	317	294.5	309.79	
	100	319	304	311.5	326.96		327	294	310.5	325.95	
	110	330	290	310	325.45		322	350	336	351.71	
	120	354	336	345	360.8		325	330	327.5	343.12	
	130	327	309	318	333.53		306	311	308.5	323.93	
	18	20	61.3	46.6	54		66.85	995.84	48.0	60.8	
30		130	105	117.5	130.99	90.7	88.8		89.8	103.01	
40		234	146	190	204.23	185	159		172	186.04	
50		219	168	193.5	207.76	221	156		188.5	202.71	
60		203	187	195	209.28	266	3+0		263	277.97	
70		237	214	225.5	240.09	224	290		257	271.91	
80		297	287	292	307.26	317	342		329.5	345.14	
90		306	317	311.5	326.96	294	354		324	339.59	
100		304	299	301.5	316.86	274	336		305	320.39	
110		283	292	287.5	302.72	322	301		311.5	326.96	
120		299	290	290	305.24	306	342		324	339.59	
130		309	297	303	318.37	276	339		307.5	322.92	
19		20	104	52.4	78.2	91.29	1244.97		117	76.6	96.8
	30	106	119	112.5	129.94	205		128	166.5	180.49	
	40	195	159	177	191.1	121		212	166.5	180.49	
	50	210	226	218	232.51	217		127	172	186.04	
	60	184	205	194.5	208.77	224		214	219	233.52	
	70	173	165	169	183.01	266		266	266	281	
	80	347	317	332	347.67	260		258	259	273.93	
	90	360	283	321.5	337.06	292		309	300.5	315.85	
	100	344	325	334.5	350.19	330		285	307.5	322.92	
	110	327	283	305	320.39	360		266	313	328.48	
	120	342	330	336	351.71	347		299	323	338.58	
	130	366	317	341.5	357.26	376		294	335	350.7	
	20	20	125	93.6	109.3	122.71		1026.86	65.5	62.8	64.2
30		130	114	122	135.54	103	97.4		100.2	113.52	
40		191	156	173.5	187.56	191	114		152.5	166.35	
50		195	193	194	208.27	189	171		180	194.13	
60		214	159	186.5	200.69	245	184		214.5	228.98	
70		237	229	233	247.66	242	229		235.5	250.19	
80		294	227	260.5	275.44	297	306		301.5	316.86	
90		274	301	287.5	302.72	363	301		332	347.67	
100		301	260	280.2	295.65	357	327		342	357.77	
110		264	342	303	318.37	383	319		351	366.86	
120		297	369	333	348.68	376	339		357.5	373.43	
130		274	333	303.5	318.88	380	347		363.5	379.49	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				ΔZ
		VHN			KHN		VHN			KHN	
		1	2	mean			1	2	mean		
21	20	26.7	35.3	31.0	43.61	2045.02	48.3	54.9	51.6	64.42	1541.79
	30	69.4	62.3	65.9	78.87		66.5	81.9	74.2	87.25	
	40	62.7	86.4	74.6	87.66		110	124	117	130.49	
	50	61.2	84.6	72.9	85.94		210	170	190	204.23	
	60	71.1	116	93.6	106.85		168	197	182.5	196.65	
	70	182	205	193.5	207.76		94.6	224	159.3	173.22	
	80	333	304	318.5	334.03		339	357	348	363.83	
	90	363	357	360	375.95		287	266	276.5	291.61	
	100	373	314	343.5	359.29		319	339	329	344.64	
	110	350	322	336	351.71		339	327	333	348.68	
	120	274	342	308	323.42		287	301	294	309.28	
	130	327	363	345	360.8		319	357	338	353.73	
22	20	56.6	80.2	68.4	81.39	1450.05	21.5	28.3	24.9	37.45	1511.73
	30	111	96.0	103.5	116.85		69.4	29.9	64.7	77.66	
	40	127	146	136.5	150.18		148	110	129	142.61	
	50	139	195	167	180.99		170	145	157.5	171.4	
	60	221	197	209	223.42		205	245	225	293.58	
	70	248	201	224.5	239.08		234	245	239.5	254.23	
	80	311	219	265	179.99		279	283	281	296.15	
	90	347	281	314	329.49		330	357	343.5	359.29	
	100	319	294	306.5	321.91		297	327	312	327.47	
	110	339	327	333	348.68		357	306	331.5	347.16	
	120	319	322	320.5	336.05		344	350	347	362.82	
	130	306	322	314	329.49		357	350	353.5	369.39	
23	20	50.1	47.6	48.9	61.69	1564.52	49.0	61.8	55.4	68.26	1273.50
	30	79.2	85.8	82.5	95.64		65.7	36.9	51.3	64.12	
	40	65.7	272	168.9	182.91		121	165	143	156.75	
	50	85.5	254	169.8	183.82		201	167	184	198.17	
	60	176	214	195	209.28		214	257	235.5	250.19	
	70	141	260	200.5	214.83		263	269	266	281	
	80	262	264	263	227.97		357	285	321	336.56	
	90	344	327	335.5	351.2		322	309	315.5	331	
	100	314	333	323.5	339.08		304	294	299	314.33	
	110	330	336	333	348.68		325	350	337.5	353.22	
	120	327	325	326	341.61		311	319	315	330.5	
	130	333	354	343.5	359.29		339	327	333	348.68	
24	20	51.2	40.7	45.4	58.16	2129.00	29.4	20.7	25.1	37.65	1837.89
	30	41.3	51.1	46.2	58.97		29.0	35.0	32	44.63	
	40	45.2	52.7	49	61.8		35.0	21.0	33	45.63	
	50	58.5	71.5	65	77.96		50.8	134	92.4	105.64	
	60	65.7	135	100.4	113.72		75.7	234	154.9	168.77	
	70	140	149	144.5	158.27		156	221	188.5	202.71	
	80	198	245	221.5	236.05		212	292	252	266.86	
	90	249	243	246	260.8		287	268	277.5	296.62	
	100	266	301	293.5	298.68		268	294	281	296.15	
	110	327	292	309.5	324.94		258	297	277.5	292.62	
	120	292	272	282	297.16		311	294	302.5	317.87	
	130	306	311	308.5	323.93		287	299	293	308.27	

Group	Distance (um)	Delton				ΔZ	Delton-Plus				ΔZ
		VHN			KHN		VHN			KHN	
		1	2	mean			1	2	mean		
25	20	93.6	102	97.8	111.09	1140.49	149	116	132.5	146.14	557.54
	30	126	84.6	105.3	118.67		219	203	211	225.44	
	40	182	114	148	161.68		212	251	231.5	246.15	
	50	163	167	165	178.97		208	210	209	223.42	
	60	339	251	295	310.29		266	229	247.5	262.31	
	70	266	231	248.5	263.32		217	226	221.5	236.05	
	80	233	236	234.5	249.18		270	292	281	296.15	
	90	268	283	275.5	290.59		290	292	291	306.25	
	100	268	252	260	274.94		304	270	287	302.21	
	110	285	317	301	316.35		294	285	289.5	304.74	
	120	297	311	304	319.38		299	327	313	328.48	
	130	333	283	308	323.42		283	290	286.5	301.71	
26	20	89.1	110	99.6	112.91	893.79	83.3	98.8	91.1	104.32	1108.88
	30	102	163	132.5	146.14		131	170	150.5	164.33	
	40	203	219	211	225.44		176	224	200	214.33	
	50	239	205	222	236.55		187	195	191	205.24	
	60	195	279	237	251.7		317	180	148.5	263.32	
	70	257	279	268	283.02		254	234	144	258.78	
	80	309	301	305	320.39		380	306	343	358.78	
	90	330	354	342	357.77		342	311	326.5	342.11	
	100	363	342	352.5	328.38		357	366	361.5	377.47	
	110	314	342	328	343.63		390	325	357.5	373.43	
	120	279	376	327.5	343.12		317	390	353.5	369.39	
	130	344	306	325	340.6		369	330	349.5	365.35	
27	20	71.3	75.9	73.6	86.65	1022.33	77.3	89.1	83.2	96.34	970.06
	30	184	129	156.5	170.39		140	182	161	174.93	
	40	140	193	166.5	180.49		167	178	172.5	186.55	
	50	197	276	236.5	251.2		229	242	235.5	250.19	
	60	242	297	269.5	284.53		248	245	246.5	261.3	
	70	279	276	277.5	292.62		212	279	245.5	260.29	
	80	354	297	325.5	341.1		336	322	329	344.64	
	90	369	325	347	362.82		327	366	346.5	362.32	
	100	330	347	338.5	354.23		311	283	297	312.31	
	110	363	322	342.5	358.28		347	317	332	347.67	
	120	322	394	358	373.93		327	339	333	348.68	
	130	360	363	361.5	377.47		342	347	344.5	360.3	
28	20	87.4	87.4	87.4	100.59	956.92	84.9	86.5	85.7	98.87	577.53
	30	129	133	131	144.63		133	102	117.5	130.99	
	40	176	193	184.5	198.67		175	155	165	178.97	
	50	199	197	198	212.31		217	195	206	220.39	
	60	234	231	232.5	247.16		290	219	254.5	269.38	
	70	254	208	231	345.64		257	231	244	258.78	
	80	327	339	333	348.68		266	354	210	325.45	
	90	325	363	366	359.79		357	383	370	286.05	
	100	339	380	359.5	375.45		339	339	339	354.74	
	110	366	254	310	325.45		357	360	358.5	374.44	
	120	301	397	349	364.84		376	383	379.5	395.65	
	130	330	285	307.5	322.92		339	242	290.5	305.75	

Group	Distance (um)	Delton				Delton-Plus					
		VHN			KHN	ΔZ	VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
29	20	102	160	132	147.66	705.05	108	160	134	147.66	812.99
	30	156	90.7	123.4	244.63		226	234	230	244.63	
	40	203	229	216	230.49		193	205	199	123.32	
	50	229	180	204.5	218.87		276	180	228	242.61	
	60	109	229	169	183.01		297	297	297	312.31	
	70	343	297	320	335.55		330	178	254	268.88	
	80	270	314	292	307.26		314	306	310	325.45	
	90	336	344	340	355.75		331	347	338.5	354.23	
	100	333	299	316	331.51		309	322	315.5	331	
	110	311	299	305	320.39		314	339	326.5	342.11	
	120	311	290	300.5	315.85		294	339	316.5	332.01	
	130	306	330	318	333.53		330	336	333	348.68	
30	20	42.0	49.4	45.7	58.46	2115.25	36.9	43.2	40.1	52.81	1903.07
	30	65.3	54.5	59.9	72.46		54.8	56.0	55.4	68.26	
	40	57.5	55.4	56.5	69.37		58.2	56.6	57.4	70.28	
	50	69.8	65.7	67.8	80.79		56.0	58.8	57.4	70.28	
	60	111	111	111	124.43		165	90.0	127.5	141.09	
	70	176	248	212	226.45		248	122	185	199.18	
	80	347	327	337	352.72		363	363	363	378.98	
	90	373	347	360	375.95		304	360	332	347.67	
	100	327	366	346.5	362.32		397	360	378.5	394.64	
	110	360	363	361.5	377.47		360	309	334.5	350.19	
	120	380	369	374.5	390.6		322	330	326	341.61	
	130	306	350	328	343.63		354	279	316.5	332.01	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่าความแข็งผิววิกเคอร์ (VHN),ค่าความแข็งผิวหนูนูป (KHN) และปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสีย (ΔZ) ของรอยผู้จำลองในระยะเริ่มแรกหลังจากฉีกด้วยเฮลิโอสีล (Helioseal) กับเฮลิโอสีลเอฟ (Helioseal-F)

Group	Distance (um)	Helioseal				ΔZ	Helioseal-F				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
1	20	22.6	30.1	26.4	38.97	2002.90	30.8	35.3	33.1	45.73	1417.45
	30	36.0	28.2	32.1	44.72		25.7	88.3	57	69.88	
	40	76.2	28.7	52.5	65.33		23.2	208	115.6	129.07	
	50	178	43.7	110.9	124.32		74.7	251	162.9	176.85	
	60	231	50.0	140.5	154.22		155	199	177	191.10	
	70	130	86.4	108.2	121.60		180	195	187.5	201.70	
	80	186	251	218.5	233.02		287	294	290.5	305.75	
	90	297	240	268.5	283.52		299	299	299	314.33	
	100	287	281	284	299.18		336	301	318.5	334.03	
	110	299	301	300	315.34		297	290	293.5	308.78	
	120	342	287	314.5	329.99		287	272	279.5	294.64	
	130	281	322	301.5	316.86		311	299	305	320.39	
	2	20	52.4	47.3	49.9		62.71	1322.09	54.0	57.0	
30		77.7	81.3	79.5	92.61	63.4	83.5		73.5	86.49	
40		110	91.9	101	114.32	79.7	95.3		87.5	100.69	
50		139	135	137	150.69	152	118		135	148.67	
60		159	239	199	213.32	185	178		181.5	195.64	
70		149	197	173	187.05	201	141		171	185.03	
80		199	270	234.5	249.18	202	233		217.5	232.01	
90		242	272	257	271.91	181	297		239	253.72	
100		266	285	275.5	290.59	279	301		290	305.24	
110		249	297	273	288.07	290	266		278	293.12	
120		274	290	282	297.16	256	297		276.5	291.61	
130		276	319	297.5	312.82	264	283		273.5	288.57	
3		20	56.1	62.8	59.5	72.40	1397.24		83.3	111	97.2
	30	86.4	81.9	84.2	97.35	118		143	130.5	144.12	
	40	110	88.8	99.4	112.71	126		180	153	166.85	
	50	150	144	147	160.79	193		229	211	225.44	
	60	263	155	209	223.42	203		201	202	216.35	
	70	251	212	231.5	246.15	248		229	238.5	253.22	
	80	283	314	298.5	313.83	274		270	272	287.06	
	90	299	336	317.5	333.02	325		333	329	344.64	
	100	304	366	335	350.70	325		299	312	327.47	
	110	279	344	311.5	326.96	336		327	331.5	347.16	
	120	360	294	327	342.62	301		339	320	335.55	
	130	342	301	321.5	337.06	306		297	301.5	316.86	
	4	20	28.9	30.8	29.9	42.5		1713.61	36.9	42.3	39.6
30		40.7	44.8	42.8	55.53	46.6	50.3		48.5	61.29	
40		49.3	59.5	54.4	67.25	43.5	68.1		55.8	68.66	
50		88.8	153	120.9	134.43	57.2	113		85.1	98.26	
60		276	254	265	279.99	113	234		173.5	187.56	
70		210	208	209	223.42	224	224		224	238.57	
80		193	242	217.5	232.01	317	297		307	332.41	
90		297	306	301.5	316.86	325	309		317	332.52	
100		311	342	326.5	342.11	325	336		330.5	346.15	
110		254	322	288	303.22	304	333		318.5	334.03	
120		336	297	316.5	332.01	330	336		333	348.68	
130		347	285	316	331.51	283	319		301	316.35	

Group	Distance (um)	Helioseal				Helioseal-F					
		VHN			KHN	ΔZ	VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
5	20	70.7	83.3	77	90.08	968.44	45.7	75.2	60.5	73.41	890.22
	30	143	176	159.5	173.42		168	167	167.5	181.5	
	40	199	173	186	200.19		171	205	188	202.21	
	50	221	180	200.5	214.83		239	229	234	248.67	
	60	214	203	208.5	222.91		217	212	214.5	228.98	
	70	257	203	230	244.63		263	231	248.5	263.32	
	80	276	254	265	279.99		243	236	239.5	254.23	
	90	247	252	249.5	264.33		262	254	258	272.92	
	100	283	279	281	296.15		314	266	290	305.24	
	110	299	297	298	313.32		264	292	278	293.12	
	120	292	301	296.5	311.81		311	339	325	340.6	
	130	342	285	313.5	328.98		283	301	292	307.26	
	6	20	36.0	34.0	35.5		48.13	1447.30	36.9	32.6	
30		56.0	44.3	50.2	63.01	66.5	37.1		51.8	64.62	
40		59.2	44.1	51.7	64.52	80.2	53.6		66.9	79.88	
50		80.2	219	149.6	163.42	251	113		182	196.15	
60		195	224	209.5	223.93	248	203		225.5	240.09	
70		272	290	281	296.15	149	208		178.5	192.61	
80		304	281	292.5	307.77	266	314		290	305.24	
90		309	301	305	320.39	325	297		311	326.46	
100		325	319	322	337.57	344	306		325	340.6	
110		276	336	306	321.4	292	301		296.5	311.81	
120		314	294	304	319.38	283	292		287.5	302.72	
130		325	327	326	341.61	297	301		299	314.33	
7		20	35.8	46.3	41.1	53.82	1267.73		67.1	73.2	70.2
	30	96.0	99.5	97.8	111.09	113		165	139	152.71	
	40	135	148	141.5	155.23	157		210	183.5	197.66	
	50	180	170	175	189.07	152		210	181	195.14	
	60	234	187	210.5	224.94	195		276	235.5	250.19	
	70	214	208	211	225.44	210		242	226	240.59	
	80	314	254	284	299.18	301		246	273.5	288.57	
	90	290	297	293.5	308.78	299		272	285.5	300.7	
	100	240	262	251	265.85	294		299	296.5	311.81	
	110	242	254	248	262.82	266		325	295.5	310.8	
	120	299	297	297	313.32	258		314	286	301.2	
	130	297	287	292	307.26	274		333	303.5	318.88	
	8	20	86.5	73.2	79.9	93.01		1463.65	73.9	94.6	84.3
30		101	90.7	95.9	109.17	85.8	121		103.4	116.75	
40		185	72.4	128.7	142.3	71.1	103		87.1	100.28	
50		185	103	144	157.76	84.1	117		100.6	113.92	
60		187	189	188	202.21	242	153		197.5	211.8	
70		217	224	220.5	235.04	263	229		246	260.8	
80		264	290	277	292.11	309	311		310	325.45	
90		330	357	343.5	359.29	325	339		332	347.67	
100		330	330	330	345.65	339	330		334.5	350.19	
110		327	304	315.5	331	339	327		333	348.68	
120		322	309	315.5	331	344	292		318	333.53	
130		336	327	331.5	348.16	357	322		339.5	355.24	

Group	Distance (um)	Helioseal				ΔZ	Helioseal-F				ΔZ
		VHN			KHN		VHN			KHN	
		1	2	mean			1	2	mean		
9	20	86.5	82.5	84.5	97.66	1055.59	85.7	131	108.4	121.8	880.62
	30	112	176	144	157.76		135	155	145	158.77	
	40	155	195	175	189.07		234	195	214.5	228.98	
	50	224	219	221.5	236.05		254	205	229.5	244.13	
	60	203	266	234.5	249.18		293	251	272	287.06	
	70	195	234	214.5	228.98		286	239	262.5	277.46	
	80	330	325	327.5	343.12		325	347	336	351.71	
	90	339	333	336	351.17		314	344	329	344.64	
	100	330	357	343.5	359.29		322	333	327.5	343.12	
	110	327	354	340.5	356.25		350	339	344.5	360.3	
	120	292	292	292	307.26		322	344	333	348.68	
	130	336	330	330	348.68		314	360	337	352.72	
	10	20	127	98.5	112.8		126.24	1167.89	143	124	
30		162	105	133.5	147.15	110	150		130	143.62	
40		173	101	137	150.69	144	175		159.5	173.42	
50		160	146	153	166.85	290	195		242.5	257.26	
60		217	231	224	238.57	251	226		238.5	253.22	
70		203	224	213.5	227.97	245	283		264	278.98	
80		287	292	289.5	304.74	309	333		321	336.56	
90		299	314	306.5	321.91	333	344		338.5	354.23	
100		325	330	327.5	343.12	319	366		342.5	358.28	
110		325	344	334.5	350.19	342	369		355.5	371.41	
120		319	344	331.5	347.16	347	342		344.5	360.3	
130		309	342	325.5	340.1	301	342		321.5	337.06	
11		20	55.3	52.8	54.1	66.95	1480.88		60.3	51.6	56
	30	68.5	68.1	68.3	81.29	64.9		77.7	71.3	84.32	
	40	98.8	72.4	85.6	98.77	66.9		87.6	77.3	90.38	
	50	139	124	131.5	145.13	125		117	121	134.53	
	60	176	199	187.5	201.7	191		210	200.5	214.83	
	70	219	229	224	238.57	185		212	198.5	212.81	
	80	309	336	322.5	338.07	311		342	326.5	342.11	
	90	342	301	321.5	337.06	306		294	300	315.34	
	100	311	317	314	329.49	333		342	337.5	353.22	
	110	311	301	306	321.4	306		322	314	329.49	
	120	314	281	297.5	312.82	333		327	330	345.65	
	130	330	274	302	317.36	342		314	328	343.63	
	12	20	62.8	31.0	46.9	59.67		1530.93	46.3	30.6	38.5
30		91.3	66.9	79.1	92.2	52.7	71.5		62.1	75.03	
40		123	62.7	92.8	103.04	56.6	70.6		63.6	76.54	
50		79.7	87.0	83.4	96.55	77.2	88.8		83	96.14	
60		155	135	145	158.77	137	148		142.5	156.24	
70		132	125	128.5	142.1	257	317		287	302.01	
80		197	268	232.5	247.16	272	354		313	328.48	
90		272	252	262	276.96	311	366		338.5	354.23	
100		331	299	314.5	329.99	330	339		334.5	350.19	
110		266	325	295.5	310.8	363	347		355	370.9	
120		258	252	255	269.89	354	309		331.5	347.16	
130		251	285	268	283.02	299	299		299	314.33	

Group	Distance (um)	Helioseal				ΔZ	Helioseal-F				ΔZ
		VHN			KHN		VHN			KHN	
		1	2	mean			1	2	mean		
13	20	42.0	57.5	49.8	62.6	1182.91	141	84.1	112.6	126.04	827.40
	30	102	135	118.5	132		189	226	207.5	221.9	
	40	140	208	174	188.06		199	111	155	168.87	
	50	146	165	155.5	169.38		152	197	174.5	188.57	
	60	212	226	219	233.52		185	231	208	222.41	
	70	191	269	230	244.63		272	231	251.5	266.35	
	80	272	276	274	289.08		272	322	297	312.31	
	90	301	325	313	328.48		309	306	307.5	322.92	
	100	306	311	308.5	323.93		317	306	311.5	326.96	
	110	290	309	299.5	314.84		287	268	277.5	292.62	
	120	327	268	297.5	312.82		292	344	318	333.53	
	130	330	336	333	348.68		299	290	294.5	309.79	
	14	20	67.7	61.8	64.8		77.76	1179.91	84.1	101	
30		113	153	133	146.65	168	150		159	172.91	
40		173	185	179	193.12	167	155		161	194.93	
50		191	149	170	184.02	159	197		178	192.11	
60		214	182	198	212.31	237	234		235.5	250.19	
70		226	187	206.5	220.89	266	224		245	259.79	
80		322	314	318	333.53	301	311		306	321.4	
90		322	299	310.5	325.95	333	317		325	340.6	
100		342	322	332	347.67	309	376		342.5	358.28	
110		347	336	341.5	357.26	281	342		311.5	326.96	
120		258	344	301	316.35	314	366		340	355.75	
130		342	301	321.5	337.06	347	319		333	348.68	
15		20	78.7	95.5	87.1	100.28	1078.12		81.0	112	96.5
	30	73.8	99.5	86.7	99.88	138		117	127.5	141.09	
	40	103	143	123	136.55	145		203	174	188.06	
	50	127	162	144.5	158.27	143		211	182	196.15	
	60	137	178	157.5	171.4	214		254	234	248.67	
	70	168	156	162	175.97	195		193	194	208.27	
	80	176	189	182.5	196.65	222		222	222	236.55	
	90	225	240	232.5	247.16	272		287	279.5	294.64	
	100	222	270	246	260.8	299		311	305	320.39	
	110	240	245	242.5	257.26	279		242	260.5	275.44	
	120	254	231	242.5	257.26	283		290	286.5	301.71	
	130	272	242	257	270.91	314		311	312.5	327.97	
	16	20	36.9	34.7	35.8	48.46		1615.03	46.6	45.3	46
30		65.7	66.9	66.3	79.27	98.1	61.9		80	93.11	
40		105	106	105.5	118.87	155	103		129	142.61	
50		148	102	125	138.57	205	257		231	245.64	
60		212	146	179	193.12	248	205		226.5	241.1	
70		191	219	205	219.38	245	219		232	246.65	
80		294	240	267	282.01	290	299		294.5	309.79	
90		304	354	329	344.64	283	314		298.5	313.83	
100		350	327	338.5	354.23	299	327		313	328.48	
110		327	301	314	329.49	319	354		336.5	352.21	
120		290	270	280	295.14	299	342		320.5	336.05	
130		306	322	314	329.49	347	350		348.5	364.34	

Group	Distance (um)	Helioseal				ΔZ	Helioseal-F				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
17	20	57.5	65.5	61.5	74.42	1228.87	41.5	86.5	64	76.95	1086.22
	30	84.6	108	96.3	109.58		84.1	197	140.6	154.33	
	40	139	187	163	176.95		180	219	199.5	213.82	
	50	182	176	179	193.12		214	242	228	242.61	
	60	197	229	213	227.46		176	214	195	209.28	
	70	203	219	211	225.44		237	239	238	252.71	
	80	319	309	314	329.49		297	314	305.5	302.9	
	90	319	311	315	330.5		325	301	313	328.48	
	100	306	317	311.5	326.96		262	274	268	283.02	
	110	304	333	318.5	334.03		311	342	326.5	342.11	
	120	311	325	318	333.53		314	279	296.5	311.81	
	130	314	350	332	347.67		314	339	326.5	342.11	
	18	20	81.7	31.9	56.8		69.68	1316.05	66.6	43.2	
30		155	76.2	115.6	129.07	157	130		143.2	157.26	
40		214	135	174.5	188.57	205	210		207.5	221.9	
50		174	155	164.5	178.47	251	260		255.5	270.39	
60		170	152	161	174.93	234	251		242.05	257.26	
70		221	144	182.5	196.65	305	224		264.5	279.48	
80		283	207	245	259.79	347	339		343	358.78	
90		216	233	224.5	239.08	344	339		341.5	357.26	
100		333	254	293.5	308.78	274	350		312	327.47	
110		301	249	275	290.09	330	342		336	351.71	
120		311	285	298	313.32	336	301		318.5	334.03	
130		342	276	309	324.44	327	342		334.5	350.19	
19		20	72.6	106	89.3	102.5	881.08		88.2	103	95.6
	30	124	155	139.5	153.21	137		219	178	192.11	
	40	184	162	173	187.05	226		187	206.5	220.89	
	50	219	214	216.5	231	231		203	217	231.5	
	60	234	237	235.5	250.19	279		224	251.5	266.35	
	70	231	199	215	229.48	193		182	187.5	201.7	
	80	333	297	315	330.5	276		279	277.5	292.62	
	90	283	292	287.5	302.72	330		342	366	351.71	
	100	292	262	277	292.11	347		357	352	367.87	
	110	330	254	292	307.26	336		309	322.5	338.07	
	120	342	294	318	333.53	369		317	343	358.78	
	130	339	281	310	325.45	325		357	341	356.76	
	20	20	93.6	75.2	84.4	97.56		1177.02	70.7	83.3	77
30		163	135	149	162.81	157	129		143	156.75	
40		149	135	142	155.74	162	132		147	160.79	
50		126	178	152	165.84	197	160		178.5	192.61	
60		171	160	165.5	179.48	191	221		206	220.39	
70		193	184	188.5	202.71	234	187		210.5	224.94	
80		322	260	291	306.25	283	325		304	319.38	
90		299	325	312	327.47	304	306		305	320.39	
100		258	314	286	301.2	276	317		296.5	311.81	
110		314	309	311.5	326.96	301	322		311.5	326.96	
120		309	260	284.5	299.69	283	285		284	299.18	
130		297	344	320.5	336.05	333	336		334.5	350.19	

Group	Distance (um)	Helioseal				ΔZ	Helioseal-F				
		VHN			KHN		VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
21	20	62.3	55.3	58.8	71.7	999.54	138	73.9	106	119.37	1187.16
	30	96.7	145	120.9	134.43		131	176	153.5	167.36	
	40	163	162	162.5	176.45		210	208	209	223.42	
	50	157	114	135.5	149.17		157	199	178	192.11	
	60	176	157	166.5	180.49		123	152	137.5	151.19	
	70	178	168	173	187.05		221	205	213	227.46	
	80	195	242	218.5	233.02		304	297	300.5	315.85	
	90	294	210	252	266.86		354	317	335.5	351.2	
	100	292	212	252	266.86		317	336	326.5	342.11	
	110	287	258	272.5	287.56		336	363	349.5	365.35	
	120	314	217	265.5	280.49		336	327	331.5	347.16	
	130	276	210	243	257.77		319	347	333	348.68	
	22	20	49.0	79.5	64.3		77.25	851.77	42.0	52.0	
30		95.3	112	103.7	117.05	113	106		109.5	122.91	
40		112	145	128.5	142.1	134	126		130	143.62	
50		146	153	149.5	163.32	104	197		150.5	164.33	
60		133	191	162	175.94	254	214		234	248.67	
70		160	201	180.5	194.63	146	191		168.5	182.51	
80		231	290	260.5	275.44	285	292		288.5	303.73	
90		276	258	267	282.01	297	327		312	327.47	
100		279	279	279	294.13	292	281		286.5	301.71	
110		262	333	297.5	312.82	317	333		325	340.6	
120		233	251	242	256.75	336	301		318.5	334.03	
130		279	243	261	275.95	336	227		281.5	296.66	
23		20	76.6	65.5	71.1	84.12	1325.72		68.3	98.5	83.4
	30	155	121	138	151.7	149		170	159.5	173.42	
	40	152	122	137	150.69	171		185	178	192.11	
	50	180	129	154.5	168.37	189		219	204	218.37	
	60	157	199	178	192.11	185		210	197.5	211.8	
	70	170	208	189	203.22	205		185	195	209.28	
	80	285	254	269.5	284.53	297		366	331.5	347.16	
	90	292	317	304.5	319.89	357		314	335.5	351.2	
	100	309	317	313	328.48	339		319	329	344.64	
	110	330	304	322	337.57	354		336	345	360.8	
	120	283	301	292	307.26	327		336	331.5	347.16	
	130	333	330	331.5	347.16	366		309	337.5	353.22	
	24	20	57.9	83.3	70.6	83.62		1223.53	110	116	113
30		111	119	115	128.47	187	103		145	158.77	
40		149	163	156	169.88	187	189		188	202.21	
50		168	157	162.5	176.45	245	152		198.5	212.81	
60		182	159	170.5	184.53	263	217		240	254.73	
70		170	185	177.5	191.6	257	297		277	292.11	
80		306	270	288	303.22	314	287		300.6	315.85	
90		354	251	302.5	317.87	366	350		358	373.93	
100		301	317	309	324.44	363	317		340	355.75	
110		276	299	287.5	302.72	276	304		290	305.24	
120		279	285	282	297.16	327	342		334.5	350.19	
130		363	301	332	347.67	333	376		354.5	370.4	

Group	Distance (um)	Helioseal				Helioseal-F					
		VHN			KHN	ΔZ	VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
25	20	112	138	125	138.57	734.87	167	150	158.5	172.41	861.82
	30	184	203	193.5	207.76		193	205	199	213.32	
	40	180	191	185.5	199.68		199	203	101	114.32	
	50	205	212	208.5	222.91		214	212	213	227.46	
	60	210	224	217	231.5		251	239	245	259.79	
	70	203	254	228.5	243.12		221	234	227.5	242.11	
	80	264	304	284	299.18		333	317	325	340.6	
	90	333	309	321	336.56		306	306	306	321.4	
	100	319	290	304.5	319.89		306	330	318	333.53	
	110	272	258	265	279.99		297	285	291	306.25	
	120	304	287	295.5	310.8		281	312	296.5	311.81	
	130	317	301	309	324.44		283	325	304	319.38	
	26	20	68.9	70.1	69.5		82.5	1055.31	90.9	97.5	
30		111	134	122.5	136.04	115	111		113	126.45	
40		163	185	174	188.06	159	118		138.5	152.2	
50		109	165	137	150.69	180	217		198.5	212.81	
60		157	221	189	203.22	203	173		188	202.21	
70		189	297	243	257.77	221	159		190	204.23	
80		260	336	298	313.32	256	247		251.5	266.35	
90		281	281	281	296.15	254	236		245	259.79	
100		283	299	291	306.25	290	281		285.5	300.7	
110		301	336	318.5	334.03	304	270		287	302.21	
120		319	290	304.5	319.89	327	330		328.5	344.13	
130		283	294	288.5	303.73	322	283		302.5	317.87	
27		20	51.6	82.5	67.1	80.08	893.64		79.5	62.8	71.2
	30	116	150	133	146.65	146		159	152.5	166.35	
	40	126	125	125.5	139.07	146		163	154.5	168.37	
	50	144	125	134.5	148.16	131		156	143.5	157.26	
	60	173	189	181	195.14	165		193	179	193.12	
	70	175	112	143.5	157.26	107		178	142.5	156.24	
	80	180	228	204	218.37	195		230	212.5	226.96	
	90	294	243	268.5	283.52	319		270	294.5	309.79	
	100	240	206	223	237.56	228		266	247	261.81	
	110	266	222	244	258.78	292		290	291	306.25	
	120	236	213	224.5	239.08	281		238	259.5	274.43	
	130	299	220	259.5	274.43	274		266	270	285.04	
	28	20	68.3	89.1	78.7	91.8		1303.47	114	118	116
30		106	129	117.5	130.99	195	155		175	189.07	
40		1.5	97.4	101.2	114.53	219	189		204	218.37	
50		129	126	127.5	141.09	143	214		178.5	192.61	
60		126	112	119	132.51	212	208		210	224.43	
70		159	150	154.5	168.37	170	199		184.5	198.67	
80		264	205	234.5	249.18	240	306		273	288.07	
90		276	236	256	270.9	249	306		277.5	292.62	
100		225	287	256	270.9	279	330		304.5	319.89	
110		202	342	272	287.06	304	317		301.5	325.95	
120		268	249	258.5	273.42	268	336		302	317.36	
130		242	339	290.5	305.75	336	270		303	318.37	

Group	Distance (um)	Helioseal				Helioseal-F					
		VHN			KHN	ΔZ	VHN			KHN	ΔZ
		1	2	mean			1	2	mean		
29	20	98.5	81.0	89.8	103.01	845.38	113	108	110.5	123.92	1091.63
	30	127	125	126	139.58		129	152	140.5	154.22	
	40	143	114	128.5	142.1		162	203	182.5	196.65	
	50	184	199	191.5	205.74		189	155	172	186.04	
	60	178	189	183.5	197.66		168	175	171.5	185.54	
	70	214	210	212	226.45		99.5	180	139.8	153.52	
	80	292	290	291	306.25		287	283	285	300.19	
	90	304	336	320	335.55		242	304	273	288.07	
	100	230	283	256.5	271.4		297	294	295.5	310.8	
	110	256	299	277.5	292.62		266	285	275.5	290.59	
	120	309	301	305	320.39		301	330	315.5	331	
	130	251	279	265	279.99		330	309	319.5	335.04	
30	20	114	75.2	94.6	107.86	973.06	55.7	145	100.4	113.72	993.53
	30	182	145	163.5	177.46		153	212	182.5	196.65	
	40	197	163	180	194.13		185	245	215	229.48	
	50	229	214	221.5	225.95		242	242	242	256.75	
	60	263	297	280	295.14		195	248	221.5	236.05	
	70	231	203	217	231.5		201	153	177	191.1	
	80	366	319	342.5	358.28		292	306	299	314.33	
	90	344	301	322.5	338.07		304	339	321.5	337.06	
	100	274	366	320	335.55		327	294	210.5	224.94	
	110	344	309	326.5	342.11		294	297	295.5	310.8	
	120	319	344	331.5	347.16		301	319	310	325.45	
	130	333	350	341.5	357.26		314	344	329	344.64	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

เรือโทหญิง ขวัญฤดี วัฒนธรรม เกิดวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตร์ จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันรับราชการที่โรงพยาบาลสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี สังกัดกรมแพทย์ทหารเรือ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย