

สมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์



นาง อสมา ปาลเดชพงศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-6215-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL PROPERTIES OF WHISKER-REINFORCED PIT AND FISSURE SEALANT



Mrs. Asama Pandejpong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-6215-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์

โดย

นาง อสมมา ปาลเดชพงศ์

สาขาวิชา

ทันตกรรมหัตถการ

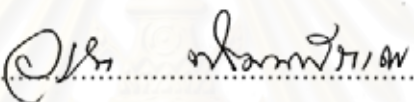
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง

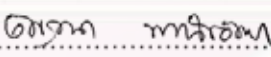
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

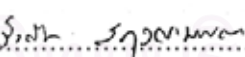

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สุจิตมา ภูศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วาสนา พัฒนพิระเดช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุจิต พูลทอง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. อัญชณา พานิชัตตรา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. รังสิมา สุกุลณะมรรคา)

สถาบันทันตกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อสม่า ปาลเดชพงศ์ : สมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใย
 วิสเกอร์ (PHYSICAL PROPERTIES OF WHISKER-REINFORCED PIT AND
 FISSURE SEALANT) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ทพ.ดร. สุจิต พูลทอง 103 หน้า.
 ISBN 974-17-6215-1.

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์
 ของสารโคโคซาน

วิธีการทดลอง วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพรีไวแคร์ และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพรีไวแคร์ที่มี
 สารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก (n=5) ถูกเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ
 เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. สูง 2 มม. นำไปวางบนแบบหล่อ เทสารเรซินใส รองนเรซินใสแข็งตัวเต็มที
 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบขัดแต่งด้วยกระดาษทราย ตามด้วยผงขัดกากเพชร และใช้
 ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 0.05 ไมโครเมตรเป็นขั้นตอนสุดท้าย นำชิ้นทดสอบไปทดสอบความแข็ง
 โดยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนยี่ห้อ UMIS เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบแล้วนำพรีไวแคร์ และ
 พรีไวแคร์ที่ผสมสารโคโคซานที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและความแข็งสูงสุด
 (n=5) ทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ในเรื่องความลึกของการแข็งตัวและความหนาของชั้น
 ผิวที่ไม่แข็งตัว และมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ในเรื่องการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำต่อไป

ผลการทดลอง วัสดุพรีไวแคร์ที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีค่าความ
 แข็งสูงสุดและสูงกว่าวัสดุพรีไวแคร์อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความแข็งของวัสดุพรีไวแคร์ที่มีสาร
 โคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่า
 วัสดุพรีไวแคร์ที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ
 แบคทีเรียต่ำที่สุด และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3,
 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกัน จึงเลือกวัสดุพรีไวแคร์ที่มีสารโคโคซานร้อยละ 3.3 มา
 ทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ ผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องค่าความลึกของ
 การแข็งตัวและความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุพรีไวแคร์และวัสดุพรีไวแคร์ที่มีสารโคโคซาน
 ร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามวัสดุพรีไวแคร์ที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดย
 น้ำหนัก มีค่าการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำสูงกว่าพรีไวแคร์อย่างมีนัยสำคัญ

สรุป วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซาน มีผลในการต้านเชื้อ
 แบคทีเรียโดยไม่ทำให้ความแข็งของวัสดุลดลง และมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 แต่
 ไม่ผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000

ภาควิชา ทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่อนิติ..... จุลมา ปาลเดชพงศ์
 สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2548.....

4776133132 : MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEY WORD: PHYSICAL PROPERTIES / WHISKER / PIT AND FISSURE SEALANT / CHITOSAN
ASAMA PANDEJPONG: PHYSICAL PROPERTIES OF WHISKER-REINFORCED PIT
AND FISSURE SEALANT. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUCHIT POOLTHONG,
PhD 103 pp. ISBN 974-17-6215-1.

Objective: The aim of this study was to investigate the physical properties of chitosan-whiskers reinforced pit and fissure sealants.

Materials & Methods: The specimens (3mm in diameter and 2 mm in thickness) of 5 pit and fissure sealants (Prevo™ care, 1.2, 3.3, 5, and 6.5%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care) were prepared. The cured specimens (n=5) were embedded in an epoxy resin and left for 24 hours until the resin set. The embedded sealant was ground with silicon-carbide paper and then polished with diamond suspensions. It was polished to a final finish of 0.05 μm alumina oxide powders. The nanohardness tester (UMIS, Australia) was used to measure the hardness. After the measurement, the chitosan-whiskers in Prevo™ care that had the highest hardness and developed the antibacterial effect would be selected for ISO test, which were depth of cure and uncured film thickness (ISO 6874:1988) and water sorption and water solubility (ISO 4049:2000).

Results: The chitosan-whiskers in Prevo™ care (1.2%w) had the highest hardness value and was significantly higher hardness than the Prevo™ care. The hardness values of 1.2, 3.3, 5, and 6.5%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care were not significantly different. However the antibacterial effect of 1.2%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care was the lowest. There was not significant difference on antibacterial effect among 3.3, 5, and 6.5%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care. The 3.3%w of the chitosan-whiskers were chosen and conducted for the ISO tests. The results showed no significant difference between depth of cure and uncured film thickness of Prevo™ care and 3.3%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care. However the 3.3%w of the chitosan-whiskers in Prevo™ care showed significantly higher water sorption and water solubility than Prevo™ care.

Conclusions: The chitosan-whiskers in Prevo™ care showed antibacterial effect without a reduction of hardness. Properties tested following ISO 6874:1988 for the chitosan-whiskers in Prevo™ care were within ISO requirements. However the chitosan-whiskers in Prevo™ care did not pass ISO 4049:2000 requirements.

Department Operative Dentistry.....Student's signature.....*Asama Pandey*
Field of study Operative Dentistry.....Advisor's signature.....*Suchit Poolthong*
Academic year 2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณ Professor Michael Swain จาก University of Otago ประเทศ นิวซีแลนด์ และ Dr. Tony Fischer-Cripps จาก CSIRO ประเทศออสเตรเลีย ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน (UMIS) ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รัตนา รุจิรวาณิช และนางสาว อัญญารัตน์ วัฒนนะพานิช จากวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเลียมเคมี จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมสารโคโคซาน ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร. ประสิทธิ์ ภาวสันต์ และทันตแพทย์หญิง รัชดาภรณ์ เค้ามงคลกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซาน

ขอขอบพระคุณ นาง มารศรี อุชชิน ภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแควร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแควร์ชนิดใสที่มีส่วนผสมของสารโคโคซาน ขอขอบพระคุณ อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการสร้างอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้องของผู้วิจัย รวมถึง ดร.ต๋อยศ ปาลเดชพงศ์ และนางสาวสาธินี นฤปรกร ที่ให้กำลังใจและคำปรึกษาในการทำวิจัยตลอดมา และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
สมมติฐานของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
วิธีการวิจัย.....	24
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
ผลความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น.....	38
ผลการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ.....	44
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	48
อภิปรายผลการวิจัย.....	48
สรุปผลการวิจัย.....	55
ข้อเสนอแนะ.....	56

หน้า

รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของการทดสอบความแข็งในระดับนาโน.....	28
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความแข็ง ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ.....	38
ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่ามอดุลัส ของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ.....	39
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความลึกของการแข็งตัวและ ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ.....	44
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมน้ำ และการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ.....	47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงสูตร โครงสร้างของกลุ่มเมทาคริเลท หรืออคริลิเกรซินมอนอเมอร์.....	8
ภาพที่ 2 แสดงสูตร โครงสร้างทางเคมีของสาร ไคติน ไคโตซานและเซลลูโลส.....	11
ภาพที่ 3 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ของสารไคตินวิสเกอร์ที่ได้จากเปลือกกุ้ง <i>Penaeus merquiensis</i>	13
ภาพที่ 4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ของสารไคโตซานวิสเกอร์ที่ได้จากเปลือกกุ้ง <i>Penaeus merquiensis</i>	14
ภาพที่ 5 แสดงหลักการทดสอบความแข็งในระดับไมโคร.....	16
ภาพที่ 6 ลักษณะกราฟพี-เอช (P-h graph).....	17
ภาพที่ 7 แสดงกราฟความเค้น-ความเครียด และค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น.....	18
ภาพที่ 8 แสดงแบบหล่อเทพลอนที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ.....	24
ภาพที่ 9 แสดงภาพเครื่องขัดผิววัสดุที่ใช้ในการขัดชิ้นทดสอบ.....	25
ภาพที่ 10 แสดงภาพเครื่องมือกดชิ้นงานให้ขานาน.....	26
ภาพที่ 11 แสดงภาพแบบพิมพ์โลหะรูปทรงกระบอก.....	29
ภาพที่ 12 แสดงขั้นตอนการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ โดยใช้เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล.....	30
ภาพที่ 13 แสดงภาพการวัดความหนาของชิ้นผิวที่ไม่แข็งตัว.....	30
ภาพที่ 14 แสดงภาพเครื่องวัดความแข็งผิวในระดับไมโคร.....	31
ภาพที่ 15 แสดงแบบพิมพ์โลหะที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ.....	31
ภาพที่ 16 แสดงลักษณะปลายหัวกดเบอร์โกวิช.....	33
ภาพที่ 17 แสดงสัดส่วนพื้นที่ระหว่างปลายหัวกดอูมคคิ.....	33
ภาพที่ 18 แสดงการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน.....	34
ภาพที่ 19 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวแคร์ชนิดใส.....	40
ภาพที่ 20 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวแคร์ชนิดใส ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก.....	40
ภาพที่ 21 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวแคร์ชนิดใส ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก.....	41

ภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 22 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	41
ภาพที่ 23 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก.....	42
ภาพที่ 24 แสดงผลการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน.....	43
ภาพที่ 25 แสดงอินฮิบิทอรี เฮโล (inhibitory halo) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณ ร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก.....	43
ภาพที่ 26 แสดงการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส.....	45
ภาพที่ 27 แสดงการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน ในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก.....	46

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคฟันผุเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียฟันในประชากรทุกกลุ่มและทุกประเทศ การดำเนินของโรคเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Manji และคณะ, 1991) และอัตราชุก (prevalence) ของการเกิดโรคฟันผุสูงขึ้นในประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนวิถีชีวิตจากชนบทเป็นชุมชนเมือง ชนิดของอาหารที่รับประทานเปลี่ยนจากผักผลไม้มาเป็นอาหารที่สังเคราะห์จากแป้งและน้ำตาล สำหรับประเทศไทยอัตราการเกิดฟันผุของประชากรไทยอยู่ในระดับสูง นั่นคือกลุ่มเด็กอายุ 6 ปี และ 12 ปี มีความชุกของโรคฟันผุร้อยละ 85.1 และ 53.9 ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2543-2544) โดยบริเวณที่พบฟันผุมากที่สุดคือ หลุมร่องฟัน (pit and fissure) รองลงมาคือ ด้านเรียบของฟันและรากฟัน ตามลำดับ สาเหตุที่หลุมร่องฟันเกิดการผุได้ง่าย เนื่องจากเป็นบริเวณที่แผ่นคราบจุลินทรีย์ (plaque) เกาะติดง่ายและทำความสะอาดได้ยาก (Rugg-Gunn, 1997) ทำให้มีผู้คิดวิธีการป้องกันการเกิดฟันผุด้านบดเคี้ยวไว้หลายวิธี เช่น วิธีโพรไฟแลคติก โอดอนโตมี (prophylactic odontomy) ซึ่งเป็นการเตรียมโพรงฟันคลาสวัน (class I) ด้วยอะมัลกัม (amalgam) โดยกรอตัดผิวเคลือบฟันที่ครอบคลุมบริเวณหลุมร่องฟันที่ลึกให้กว้างและเรียบ เพื่อให้ทำความสะอาดได้ง่าย (Bodecker, 1929) ซึ่งวิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยมในการป้องกันฟันผุ เพราะมีการสูญเสียเนื้อฟันที่ดี ต่อมามีการพัฒนานำสารเรซินมาเคลือบบริเวณหลุมร่องฟัน (Bowen, 1963; Cueto และ Buonocore, 1967) ซึ่งการเคลือบหลุมร่องฟันนี้เป็นวิธีการทางคลินิกที่ได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1976 ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยวและปลอดภัย (The national institutes of health, 1984) หลักการของการใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน คือเพื่อเป็นสิ่งกีดขวางทางกายภาพป้องกันการสะสมของแบคทีเรียและอาหารซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดโรคฟันผุบริเวณหลุมและร่องฟัน (Tinanoff, 1988)

เนื่องจากประเทศไทยยังขาดความรู้ทางด้านการผลิต จึงส่งผลให้ทันตวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ภายในประเทศ เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้น ทำให้ทันตวัสดุมีราคาค่อนข้างสูงและส่งผลให้ต้นทุนในการรักษาสูงตามไปด้วย ซึ่งรวมถึงวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเช่นกัน (ดารณี คณิตไพโรจน์, 2538) ดังนั้นทางคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีโครงการวิจัยที่นำไปสู่การพัฒนาทันตวัสดุสำหรับใช้ในประเทศ โดยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่

พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการตั้งชื่อว่า 프리โวแคร์ (Prevo™ care) 프리โวแคร์มีสารบิส-จีเอ็มเอ (bis-GMA) เป็นมอนอเมอร์ (monomer) หลัก และองค์ประกอบพื้นฐานใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด ได้มีการศึกษาทดสอบสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ในเรื่องความลึกของการแข็งตัว (depth of cure) และความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (uncured film thickness) และมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 เรื่องการดูดซับน้ำ (water sorption) และการละลายน้ำ (solubility) รวมถึงดีกรีออฟคอนเวอร์ชัน (degree of conversion) และความแข็งแบบวิกเกอร์ส (vickers hardness) โดยเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศคือ คอนไซส์ (Concise™) พบว่า 프리โวแคร์และคอนไซส์มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ตามที่มาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 และ 4049:2000 กำหนด โดยที่ 프리โวแคร์มีค่าความลึกของการแข็งตัว และความแข็งแบบวิกเกอร์สมากกว่าคอนไซส์อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม 프리โวแคร์มีการดูดซับน้ำและการละลายน้ำมากกว่าเช่นกัน (สุจิต พูลทอง และคณะ, 2547) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาทางคลินิกเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า 프리โวแคร์มีประสิทธิภาพในการยึดติดและป้องกันฟันผุในหลุมร่องฟันของฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งเทียบเท่ากับคอนไซส์ (สุภาภรณ์ จงวิศาล และคณะ, 2547)

เป็นที่ทราบกันดีว่าฟันผุเกิดจากเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดขึ้นมา และละลายแร่ธาตุบนผิวฟันจนเกิดการผุ โดยเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุการเกิดฟันผุคือ เชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ (Streptococcus mutans) เชื้อกลุ่มแลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus species) และเชื้อกลุ่มแอคติโนมัยซิส (Actinomyces species) (Philip, 1999) ดังนั้นทางคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงมีแนวคิดในการใส่สารต้านจุลชีพ (antimicrobial agent) ลงในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยสารต้านจุลชีพที่เลือกใช้เป็นสารจากธรรมชาติ นั่นคือ สารไคโตซาน (chitosan) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารไคติน (chitin) ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต พบในเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก (Kumar, 2000) มีการนำสารไคโตซานมาใช้ทางทันตกรรมมากมาย เช่น ใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูกในงานศัลยกรรมปริทันต์ (Muzzarelli และคณะ, 1989) ใช้ในงานถอนฟันหรืองานศัลยกรรมตัดปลายรากฟันเพื่อส่งเสริมการสร้างกระดูก (Park และคณะ, 2000) ใช้ในงานป้องกันฟันผุ โดยอาจผสมในยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก หรือหมากฝรั่ง เป็นต้น (Tarsi และคณะ, 1997; Senel และคณะ, 2000) มีการศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานชนิดไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (chitooligosaccharide) ต่อเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ และเชื้อแอคติโนมัยซิส แอคติโนมัยซิเต็มโคมิเตนส์ (Actinobacillus actinomycetemcomitans) พบว่าสารไคโตซานมีประสิทธิภาพในการต่อต้าน

เชื้อสเตรปโตคอคคัส มีวแทนส์เพียงเล็กน้อย แต่มีผลต่อต้านเชื้อแอกติโนบาซิลัส แอกติโนมัยซีเต็ม โคมิแทนส์ได้ โดยสารจะเข้าไปมีผลให้เชื้อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียมีการฉีกขาด ทำให้เสียสมดุลของสารภายในเซลล์ (Choi และคณะ, 2001)

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของทันตวัสดุมีหลายวิธี ในส่วนของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน การติดอยู่ (retention) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นสิ่งที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันในทางคลินิก ดังนั้นการรั่วซึม การยึดของพันธะ (bond strength) การสึก ค้ำมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่น ความแข็ง ความลึกของการแข็งตัว การดูดซับน้ำและการละลายน้ำ เป็นสมบัติทางกลที่สำคัญของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เพื่อให้วัสดุคงอยู่ในช่องปากได้นานที่สุด สำหรับการทดสอบความแข็งของวัสดุบูรณะทางทันตกรรมโดยการกด (indentation) นั้นมีความสัมพันธ์กับกำลังความแข็งแรง การสึกของวัสดุ รวมถึงความต้านทานของวัสดุต่อรอยขีดข่วน (Craig และ Powers, 2002) วิธีที่นิยมใช้คือ การทดสอบความแข็งแบบนูนและแบบวิกเกอร์ส (knoop and vickers hardness tests) ซึ่งเป็นการคำนวณค่าความแข็งจากแรงที่ให้ต่อพื้นที่ของรอยกด มีการวัดขนาดของรอยกดโดยการวัดผลทางสายตา (optical measurement) ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้มาก เนื่องจากวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีความยึดหยุ่นสูง และมีการคืนตัวหลังถูกกด ในกรณีดังกล่าวการทดสอบความแข็งในระดับนาโน (nanohardness test) สามารถทราบค่าความแข็งจากแรงที่กดและพื้นที่จากการคำนวณจากความลึกจริงที่ได้ ซึ่งวัดโดย Linear Variable Differential Transformers (LVDT) (Doerner และ Nix, 1986) โดยเครื่องทดสอบนอกจากจะคำนวณหาความแข็งในระดับนาโนแล้ว ยังสามารถหาค้ำมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นได้จากกราฟที่สร้างจากแรงและความลึกของการกด ทำให้ได้ข้อมูลมากกว่า ละเอียดและถูกต้อง แม่นยำกว่าการวัดผลทางสายตา การศึกษาความแข็งและค้ำมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุบูรณะทางทันตกรรม โดยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนมีน้อยมาก (Willems และคณะ, 1993; Suansuwan และ Swain, 2001; Xu และคณะ, 2003) ในขณะเดียวกันยังไม่เคยมีการศึกษาใดที่นำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมาทดสอบความแข็งในระดับนาโน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงความแข็ง ค้ำมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่น ความลึกของการแข็งตัว ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว การดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน ในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก

2. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ในเรื่องความลึกของการแข็งตัวและความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว และมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ในเรื่องการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำ ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและความแข็งสูงสุด

สมมุติฐานการวิจัย

1. ค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน ในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกัน

2. ผลการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 และมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและความแข็งสูงสุด ไม่มีความแตกต่างกันและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าความแข็ง ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ความลึกของการแข็งตัว ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว การดูดซึมน้ำ และการละลายน้ำ ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน 2 ชนิดได้แก่

1.1 วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส

1.2 วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณที่แตกต่างกัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ในการเตรียมชิ้นทดสอบ และการทำการทดสอบกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว
2. การเตรียมชิ้นทดสอบ กระทำภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 10 \%$
3. การทดสอบความแข็งในระดับนาโน ขั้นตอนการขัดชิ้นทดสอบมีความสำคัญ จะต้องขัดชิ้นทดสอบให้มีความเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereo microscope) ที่กำลังขยาย 40 เท่า ประเมินพื้นผิวโดยไม่พบรอยขีดข่วนที่ กำลังขยายดังกล่าว

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยทางห้องปฏิบัติการ ซึ่งการจำลองปัจจัยต่าง ๆ โดยรอบไม่สามารถทำให้เหมือนสภาพในช่องปากจริงได้ทุกประการ
2. ผลการวิจัยนี้ไม่สามารถอ้างถึงวัสดุที่ใช้ในการเคลือบหลุมร่องฟันชนิดอื่น ๆ ที่ต่างออกไปจากวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการศึกษา

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Pit and fissure sealant: วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน

Physical properties: สมบัติทางกายภาพ

Chitosan: สารไคโตซาน

Hardness: ความแข็ง

Nanohardness test: การทดสอบความแข็งในระดับนาโน

Modulus of elasticity: ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

Depth of cure: ความลึกของการแข็งตัว

Uncured film thickness: ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว

Water sorption: การดูดซับน้ำ

Water solubility: การละลายน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย วัสดุเจอร์ในปริมาณต่าง ๆ กัน
2. สามารถทราบถึงค่าความลึกของการแข็งตัว ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว การดูดซับน้ำ และการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสและวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวัสดุเจอร์ของสาร ไคโตซานที่มีความสามารถในการ ด้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและค่าความแข็งสูงสุด
3. การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการนำสาร ไคโตซานมาใช้ในวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟัน ดังนั้นหากสาร ไคโตซานมีผลส่งเสริมทำให้สมบัติทางกลดีขึ้นหรือไม่มีผลทำให้ สมบัติทางกลของวัสดุลดลง ก็สามารถจะนำคุณสมบัติการด้านเชื้อแบคทีเรียของสาร ไคโตซานไป ใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณแบคทีเรียที่ทำให้ฟันผุได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

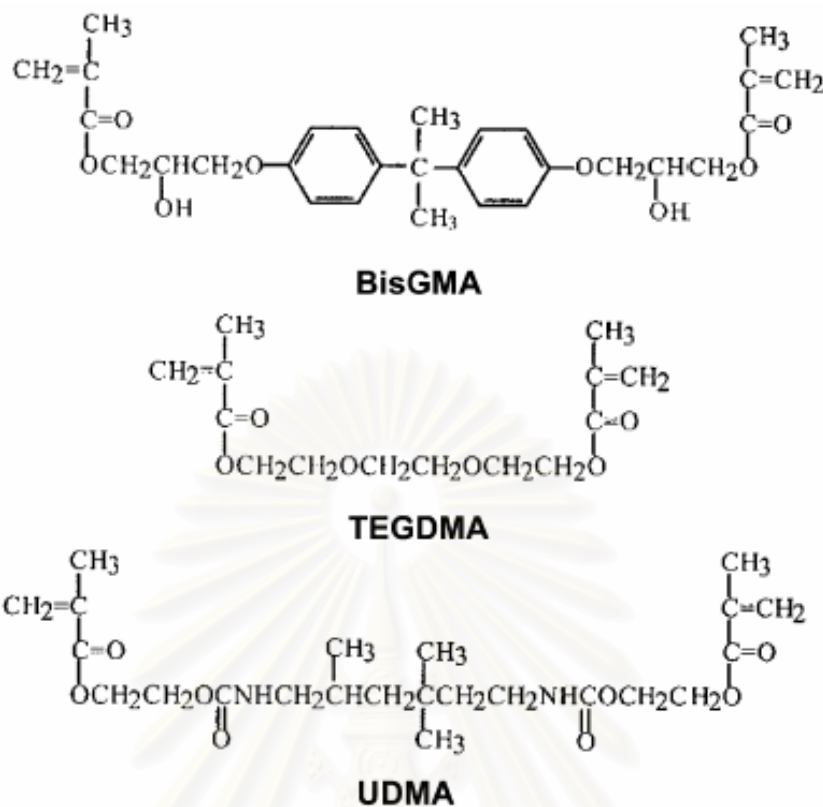
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (pit and fissure sealant)

ในปี 1955 Buonocore แนะนำการเคลือบเรซินไปบนฟันที่ถูกกัดด้วยกรด และในปี 1967 ได้เริ่มนำสารเมทิล ไซยาโนอคริเลท (methyl cyanoacrylate) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ (polymer) ร่วมกับการเติมซิลิเกต (silicate) เป็นวัสดุอัดแทรก (filler) เพื่อหวังผลในการปลดปล่อยฟลูออไรด์มาใช้ในการเคลือบหลุมร่องฟัน ผลการศึกษาทางคลินิกพบว่าสารนี้สามารถลดอุบัติการณ์การเกิดฟันผุนด้านบดเคี้ยวได้ถึงร้อยละ 86 ในระยะเวลา 1 ปี อย่างไรก็ตามสารเมทิล ไซยาโนอคริเลทมีการแตกสลายได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในช่องปากเป็นเวลานาน (Cueto และ Buonocore, 1967) ต่อมา Bowen ได้พัฒนาเรซินโดยนำสารประเภทไดเมทาคริเลท (dimethacrylate) คือ บิส-จีเอ็มเอ (2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloxy-propoxy-phenyl)-propane; bis-GMA] ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของบิสฟีนอล เอ (bisphenol A) และไกลซิديل เมทาคริเลท (glycidyl methacrylate) มาใช้แทนสารเมทิล ไซยาโนอคริเลท (Bowen, 1963) โดยสารบิส-จีเอ็มเอมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้สารมีความหนืดมากที่อุณหภูมิห้อง นอกจากสารบิส-จีเอ็มเอแล้วยังมีการนำสารยูรีธันเอเอ็มเอ (urethane dimethacrylate; UDMA) มาใช้ โดยสาร ยูรีธันเอเอ็มเอประกอบด้วยกลุ่มแอโรมาติก (aromatic groups) หรือกลุ่มแอลิฟาติก (aliphatic groups) และมีการเติมสารมอนอเมอร์บางชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพื่อลดความหนืด (diluent monomers) เช่น สารทีอีจีดีเอ็มเอ (triethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) เป็นต้น แต่การเติมสารเหล่านี้จะเพิ่มการหดตัวของวัสดุจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ทำให้การเติมสารเหล่านี้ทำได้ในปริมาณที่จำกัด (Palin และคณะ, 2003)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของกลุ่มเมทาคริเลท หรืออคริลิเกรซินมอนอเมอร์ ได้แก่ สารบิส-จีเอ็มเอ สารทีอีจีดีเอ็มเอ และสารยูดีเอ็มเอ (Palin และคณะ, 2003)

ในปัจจุบันนิยมเลือกใช้สารบิส-จีเอ็มเอมากกว่ายูดีเอ็มเอ เนื่องจากส่วนประกอบของสารบิส-จีเอ็มเอมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการระเหยน้อย ขณะมีปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ วัสดุเกิดการหดตัวน้อย รวมถึงหลังการเกิดพอลิเมอร์ วัสดุจะมีความแข็งแรงสูงและการดูดซึมน้ำน้อย (Palin และคณะ, 2003) นอกจากนี้สารเรซินแล้วยังมีการเติมสารอื่น ๆ ได้แก่ สารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiators) สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitors) สารรับแสง (light absorbers) สี และสารทึบแสง (opacifier) (Craig และ Powers, 2002)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีการเกิดพอลิเมอร์ได้จาก 2 ปฏิกิริยา คือ การกระตุ้นโดยปฏิกิริยาทางเคมี (chemical-cured) และการกระตุ้นโดยพลังงานแสง (light-cured) การเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่กระตุ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมี จะมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) และสารเทอร์เทียรี เอมีน (tertiary amine) เมื่อสารทั้งสองผสมเข้าด้วยกัน จะเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) และมีการเกิดพอลิเมอร์ขึ้น (Craig และ Powers, 2002) ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่กระตุ้นปฏิกิริยาด้วยพลังงานแสง

ในระยะแรกมีการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) อย่างไรก็ตามแสงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตรนี้ได้ถูกยกเลิก เนื่องจากแสงมีความยาวคลื่นไม่สม่ำเสมอและทำให้เกิดอันตรายต่อดวงตา จึงหันมาใช้แสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) โดยนำสารอัลฟาไดคีโตน (α 1,2--diketone) มาเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา นั่นคือสารแคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) และสารกระตุ้นปฏิกิริยาจำพวกแอลิฟาติกเอมีน โดยใช้แสงสีฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร เมื่อฉายแสงสีฟ้าจะทำให้แคมโฟโรควิโนนดูดซับแสง และสลายตัวให้อนุมูลอิสระ ทำให้วัสดุเกิดการแข็งตัว (Ruyter และ Oysaed, 1982) ในปัจจุบันวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดที่กระตุ้นปฏิกิริยาด้วยพลังงานแสงเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีส่วนของวัสดุเพียงส่วนเดียว ไม่ต้องผสม จะช่วยลดฟองอากาศที่ตกค้างภายในเนื้อวัสดุได้ มีระยะเวลาการทำงาน (working time) นาน และมีความคงทนของสีมากกว่า (Ripa, 1993)

สารยับยั้งปฏิกิริยา สารนี้ใส่เพื่อป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ที่เกิดเองโดยธรรมชาติ โดยสารจะยับยั้งการยึดเกาะกันของอนุมูลอิสระ สารที่นิยมใช้คือ สารบิวทิลเลท ไฮดรอกซีโทลูอิน (butylated hydroxytoluene) การเติมสีและสารทึบแสง สารที่ใส่มักเป็นสีขาวโดยสารที่ใช้เติมได้แก่ ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) หรือไททานเนียมออกไซด์ (titanium oxide) (Craig และ Powers, 2002) ทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างผิวเคลือบฟันและวัสดุบูรณะในช่องปากได้ ช่วยสังเกตเห็นความล้มเหลวจากการเคลือบหลุมร่องฟันได้สะดวกกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดใส (Simonsen, 1991) มีการศึกษาพบว่าความผิดพลาดจากการสังเกตความล้มเหลวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดใสมีถึงร้อยละ 23 ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดที่มีสีทึบเกิดความผิดพลาดได้เพียงร้อยละ 1 เท่านั้น อย่างไรก็ตามวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดใสมีข้อดีคือ สามารถมองเห็นฟันคู่ที่อยู่ข้างใต้วัสดุได้ง่ายกว่า (Rock และคณะ, 1989)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันประเภทเรซินที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก เนื่องจากวัสดุอัดแทรกเช่น ควอทซ์ (quartz) แก้ว (glass) และซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ส่งผลให้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีความหนืดสูงขึ้น มีการไหลแผ่ลดลง ดังนั้นการที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันไม่มีวัสดุอัดแทรกนี้ ทำให้สารเรซินมีการไหลผ่านเข้าบริเวณหลุมและร่องฟันที่ลึกดีขึ้น ส่งผลให้มีการติดอยู่ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ดี (Rock และคณะ, 1990) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก ถ้ามีการบูรณะเกิน วัสดุจะมีการสึก (abrade) อย่างรวดเร็วภายใน 24-48 ชั่วโมง ในขณะที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีวัสดุอัดแทรกจำเป็นต้องมีการตรวจและปรับการสบฟัน (occlusal adjustment) เสมอ ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการทำงาน (Tilliss และคณะ, 1992) อย่างไรก็ตามวัสดุอัดแทรก

จะช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานการสึกกร่อน และลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อน (Ferracane, 1995)

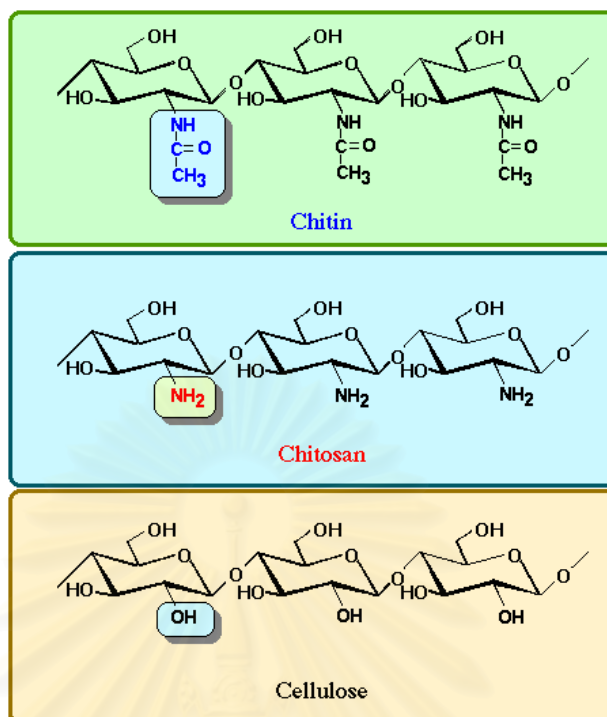
สำหรับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโอแคร์ชนิดขุ่น เป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่กระตุ้นปฏิกิริยาด้วยพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วย สารบีส-จีเอ็มเอและสารทีอีจีดีเอ็มเอในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก สารเริ่มต้นปฏิกิริยา คือ สารแคมโฟโรควิโนนความเข้มข้นร้อยละ 0.3 สารร่วมก่อปฏิกิริยา คือ ไดเมทิล อะมิโนเอทิล เมทาคริเลต (dimethyl aminoethyl methacrylate) ความเข้มข้นร้อยละ 1 และมีการเติมสารไททานเนียมไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เพื่อให้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีสีขาวขุ่น (สุจิต พูลทอง และคณะ, 2547)

2. เส้นใยวิสเกอร์: สารไคโตซาน (whisker: chitosan)

สารไคติน(chitin) เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างภายนอก(exoskeleton) ของสัตว์ขาปล้อง (arthropods) ซึ่งเป็นไฟลัม (phylum) ที่ใหญ่ที่สุดในอาณาจักรสัตว์ ประกอบด้วยแมลงต่าง ๆ และสัตว์ทะเล นอกจากนี้ยังพบสารไคตินในโครงสร้างภายในของสัตว์จำพวกหอย หนอนดิน รา ยีสต์ สาหร่าย เป็นต้น แต่ไม่พบสารไคตินในสัตว์มีกระดูกสันหลัง สารไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของสารไคติน ถูกพบครั้งแรกโดย Rouget ในปี 1859 (Kumar, 2000)

2.1 โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพ

สารไคตินและไคโตซาน เป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer) ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเป็นสายยาว โดยไม่มีการแตกแขนง (unbranched polysaccharide) สารไคตินมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันตรงที่มอนอเมอร์ของเซลลูโลสเป็นดี-กลูโคส (D-glucose) แต่สารไคตินเป็นเอ็น-อซิติก-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ส่วนสารไคโตซานคือ สารไคตินในรูปที่มีปริมาณหมู่ซิติลต่ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่ซิติล (deacetylation) ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซิติล (acetamido; $-NHCOCH_3$) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (Sriupayo และคณะ, 2005)



รูปที่ 2 แสดงสูตร โครงสร้างทางเคมีของสาร ไคติน สารไคโตซานและเซลลูโลส (Krajewska, 2005)

กลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารไคโตซาน เกิดจากโมเลกุลของสารไคโตซาน ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเกิดอินเตอร์แอคชั่น (interaction) กับเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการรั่วไหลหรือเปลี่ยนแปลงสารภายในเซลล์ (intracellular structures) (Muzzarelli และคณะ, 1990) สารไคตินและไคโตซานเป็นสารธรรมชาติ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ดังนั้นร่างกายมักจะไม่ง่ายต่อการต่อต้าน มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ และมีคุณสมบัติป้องกันการติดเชื้อได้ รวมถึงไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อดีเหล่านี้ทำให้มีการนำสารไคโตซานมาใช้งานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ได้อย่างมากมาย เช่น วัสดุตกแต่งแผล ไหมเย็บแผล และฟิวหนังเทียม เป็นต้น (Khor และ Lim, 2003)

นอกจากนี้สารไคโตซานยังมีอนุพันธ์ได้หลายชนิด เช่น เอ็น-อซิติล (N-acetyl-), เอ็น-ฟอร์มิล (N-formyl-), เอ็น-บิวทริล (N-butryl-), และเอ็น-ซัลเฟต (N-sulfated) เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่าสารไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ เอ็น-คาร์บอกซิเมทิล ไคโตซาน (N-carboxymethyl chitosan ; NCMC) และอิมิดาโซลิล ไคโตซาน (imidazolyl chitosan) สามารถป้องกันการติดเชื้อ และทำให้เกิดการหลุดของเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ บนเม็ดไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ โดยไคโตซานทั้งสองชนิดนี้ไม่มีผลต่อ

การติดอยู่ของเชื้อสเตรปโตคอคคัสชนิดอื่นในช่องปาก ซึ่งแสดงถึงความจำเพาะของสารโคโตซาน ต่อเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นจึงอาจนำมาใช้ประโยชน์ในการป้องกันฟันผุ โดยผสมในยาสีฟัน และหมากฝรั่งได้ (Tarsi และคณะ, 1997) และยังมีการศึกษาที่นำสารโคโตซานในรูปแบบเจลและฟิล์ม มาผสมร่วมกับสารคลอเฮกซิดีน พบว่าเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเชื้อราแคนดิดา อัลบิแคน (Candida albican) ได้ (Senel และคณะ, 2000) และสามารถยับยั้งเชื้อพอฟโรโมแนส จินไจวาริส (Porphyromonas gingivalis) โดยสารโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อพอฟโรโมแนส จินไจวาริส ได้ดีกว่าสารโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Ikici และคณะ, 2002)

โดยปกติแล้วสารโคตินและสารโคโตซานมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน แต่การนำสารโคตินไปใช้ประโยชน์มีน้อยกว่า เนื่องจากสารโคตินไม่สามารถละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ ได้ เพราะมีโครงสร้างเป็นผลึก ในขณะที่สารโคโตซานสามารถดูดซับน้ำและละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นกรดเจือจาง ในปัจจุบันวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเลียมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถเตรียมสารโคตินให้มีลักษณะเป็นเส้นใยวิสเกอร์ (whisker) ที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนได้ (Sriupayo และคณะ, 2005)

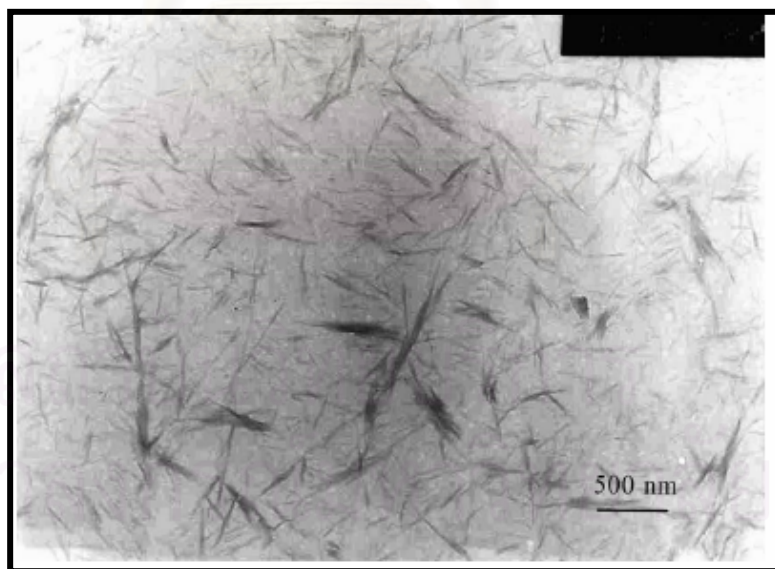
2.2 กระบวนการทางเคมีในการผลิตสารโคตินและสารโคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ส่วนใหญ่การเตรียมวิสเกอร์ที่เป็นสารโคตินและโคโตซาน มักทำจากกำมปู (crab shells) และปลาหมึก (squid pens) อย่างไรก็ตามมีเพียงการศึกษาเดียวที่สามารถเตรียมวิสเกอร์จากเปลือกกุ้ง *Penaeus merquiensis* ได้โดยวิสเกอร์นี้เปรียบเสมือนวัสดุอุดแทรกในระดับนาโน (nanofillers) ที่แขวนลอยอยู่ในเมทริกซ์ที่เป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) (Sriupayo และคณะ, 2005)

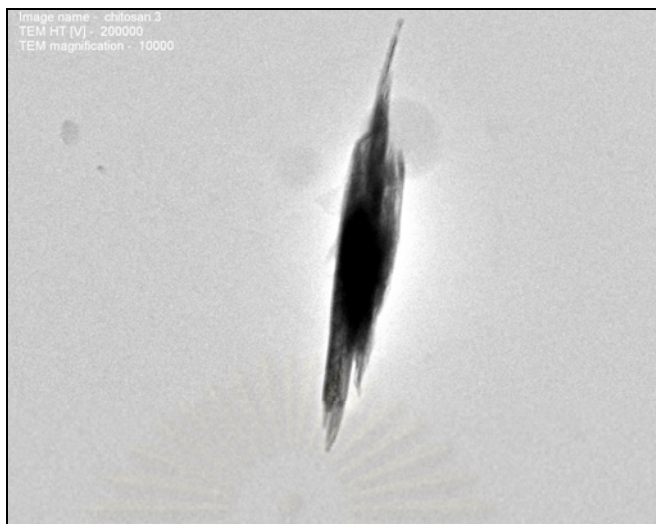
กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการนำเปลือกกุ้งมาบดให้มีขนาดเล็ก เข้าสู่กระบวนการกำจัดโปรตีน โดยการทำปฏิกิริยากับด่างซึ่งส่วนใหญ่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการกำจัดเกลือแร่ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) ทำให้ได้เกลือแคลเซียม (calcium chloride; CaCl₂) ที่ละลายน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้สารโคติน ต่อมาเป็นขั้นตอนการผลิตสารโคตินวิสเกอร์ โดยการสลายแยกน้ำด้วยกรดไฮโดรคลอริก (acid hydrolysis) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำสารแขวนลอยวิสเกอร์ (whisker suspension) มาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น โดยเข้า

เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 10,000 รอบ เวลา 5 นาที จำนวน 3 รอบ หลังจากนั้นนำสารแขวนลอยไวรัสเกอร์ผ่านขบวนการไดอะไลซิส (dialysis) (Sriupayo และคณะ, 2005) เมื่อได้สารโคตินไวรัสเกอร์แล้ว นำสารผ่านกระบวนการกำจัดหมู่ซิติล โดยเติมสารโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride; NaBH₄) เพื่อป้องกันการดีโพลีเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ต่อมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 50 ในอัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร นำสารเข้าหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นโดยการเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง 3 รอบ แล้วใส่ถุงผ่านขบวนการไดอะไลซิส โดยแช่ในน้ำกลั่นทิ้งไว้ 3 วัน จะได้สารโคโตซานไวรัสเกอร์

รูปร่างของสารโคตินไวรัสเกอร์ที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง มีลักษณะเส้นขนาน ยาวเรียว (slender parallel rods) ขนาดความยาวตั้งแต่ 150-800 นาโนเมตร (ค่าเฉลี่ย 417 นาโนเมตร) ความกว้าง 5-70 นาโนเมตร (ค่าเฉลี่ย 33 นาโนเมตร) และสารโคตินไวรัสเกอร์ที่อยู่ในแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์นี้ ส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความทนทานและมีเสถียรภาพที่ดีขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำ (Sriupayo และคณะ, 2005)



รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission electron microscope) เป็นสารโคตินไวรัสเกอร์ที่ได้จากเปลือกกุ้ง *Penaeus merquiensis* (Sriupayo และคณะ, 2005)



รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน เป็นสารไลโดซาน วิสเกอร์ที่ได้จากเปลือกกุ้ง *Penaeus merquiensis* (ภาพถ่ายจากวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเลียมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3. รูปแบบวิธีการทดลอง (test method)

3.1 การทดสอบความแข็งในระดับนาโน

การประเมินค่าความแข็งของวัสดุทางทันตกรรมสามารถทำได้ โดยวิธีการทดสอบความแข็งต่อสารขัดถู (abrasive test) การทดสอบความแข็งต่อรอยขีดข่วน (scratch test) หรือ การทดสอบความแข็งโดยการกด (indentation) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมมากกว่าวิธีอื่นและมีข้อดีหลายประการ คือ ขั้นตอนและวิธีการทดสอบง่าย (simple) ราคาถูก และสามารถทำซ้ำได้ (reproducible) (Ryge และคณะ, 1961)

การทดสอบความแข็งโดยการกดมีหลายวิธี เริ่มตั้งแต่ในปี 1900 มีการใช้หัวกดลูกเหล็กทรงกลม (steel ball) มากดบริเวณพื้นผิวที่ทดสอบจนกระทั่งถึงแรงที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นเครื่องทดสอบจะมีการคำนวณสัดส่วนของแรงกดต่อพื้นที่ผิวสัมผัส (contact area) เรียกการทดสอบนี้ว่า การทดสอบแบบบริเนลล์ (brinell test) อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้มีข้อเสียคือ หัวกดลูกเหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อกดกับวัสดุที่มีความแข็งมาก และไม่สามารถหาความแข็งในระดับไมโครได้ (Ryge และคณะ, 1961)

การทดสอบความแข็งโดยการกดแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การทดสอบความแข็งแบบมาโคร (macrohardness tests) จะใช้แรงกดมากกว่า 1 กิโลกรัม และการทดสอบความแข็งแบบไมโคร (microhardness tests) จะใช้แรงกดน้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งนิยมใช้ในทางทันตกรรมมากกว่า (Craig, 1989) การทดสอบแบบไมโครยังมีหลายวิธี เช่น การทดสอบแบบร็อกเวลล์ (rockwell test) แบบบาร์โคล (barcol test) เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมที่สุดคือการทดสอบความแข็งแบบรูปและแบบวิกเกอร์ส โดยมีหลักการคำนวณความแข็งจากค่าแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ผิวหลังจากหัวกดกดเรียบรื้อแล้ว (Ryge และคณะ, 1961) การทดสอบแบบรูปมีการใช้หัวกดเพชรรูปร่างปิรามิด (diamond pyramidal indenter) ที่ทำให้ได้รอยกดเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (rhomboid shape) และความยาวของเส้นทแยงมุม (diagonal) บริเวณรอยกดจะถูกนำมาคำนวณ มีหน่วยเป็น knoop hardness number (KHN) มีสูตรดังนี้

$$KHN = \frac{P}{l^2 C_p}$$

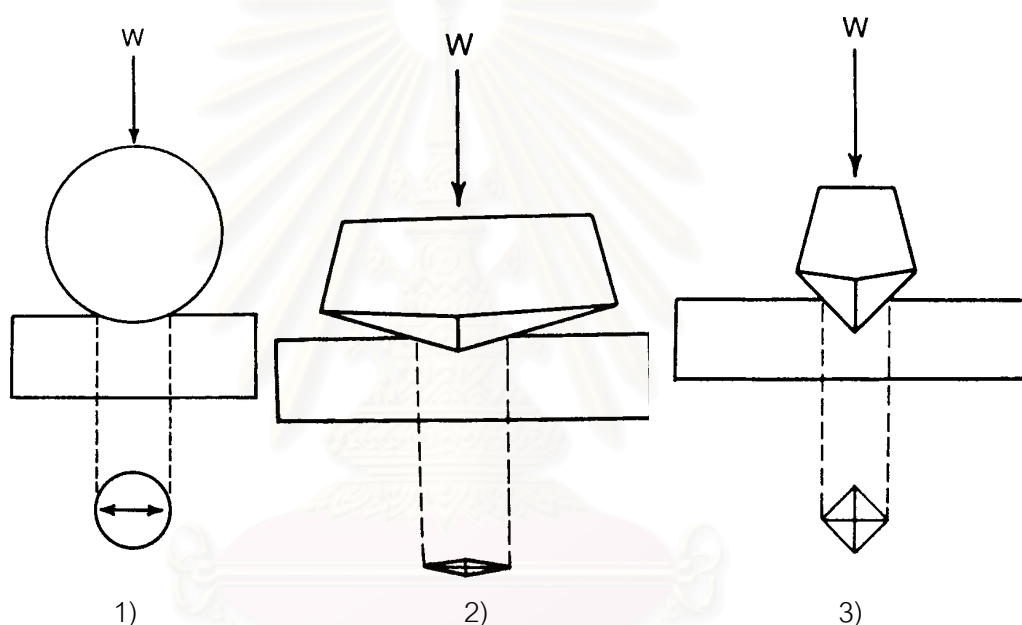
ค่า P คือแรงที่ใช้กด ค่า l คือความยาวของเส้นทแยงมุม และค่า C_p คือค่าคงที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า l การทดสอบแบบรูปมีข้อดีคือ สามารถใช้แรงกดมากน้อยแตกต่างกันได้ ทำให้วัสดุที่นำมาทดสอบมีค่าความแข็งที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปจะต้องขัดและมีพื้นผิวที่เรียบ (Craig และ Powers, 2002)

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส หลักการกดเหมือนกับการทดสอบแบบบริเนลล์และรูป แต่จะใช้หัวกดเพชรรูปร่างปิรามิดที่มีมุม 136 องศา ทำให้ได้รอยกดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square shape) เหมาะสำหรับวัดความแข็งของวัสดุที่มีความเปราะ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบรูปที่แรงระดับเดียวกัน รอยกดของวิกเกอร์สจะลึกกว่ารอยกดของรูป นั่นคือ การทดสอบแบบวิกเกอร์สมีความไว (sensitive) ต่อลักษณะพื้นผิวเรียบของวัสดุที่ทดสอบน้อยกว่า อย่างไรก็ตามลักษณะของรอยกดวิกเกอร์ส มีเส้นทแยงมุมที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับรอยกดรูป ส่งผลให้การวัดผลโดยใช้สายตา (optical measurement) มีความผิดพลาดได้ง่ายกว่า (Craig และ Powers, 2002) การทดสอบแบบวิกเกอร์สมีหน่วยเป็น vickers hardness number (VHN) มีสูตรคือ

$$VHN = 2P \sin(\theta/2) / d^2$$

ค่า P คือแรงที่ใช้กด ค่า d คือค่าเฉลี่ยของความยาวเส้นทแยงมุมทั้งสองเส้น และค่า θ คือ 136

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส นิยมใช้ทดสอบบริเวณพื้นที่เล็ก ๆ และวัสดุที่มีความแข็งมาก (Boyer, 1987)

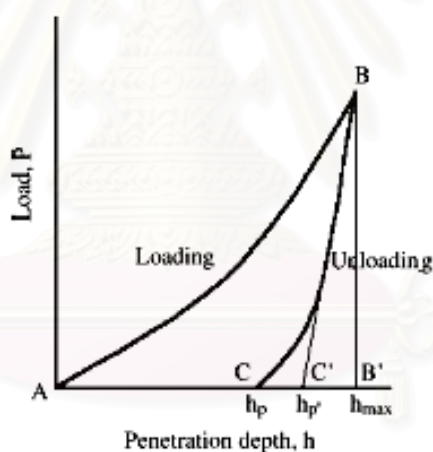


รูปที่ 5 แสดงหลักการทดสอบความแข็งในระดับไมโคร โดย 1) แบบบริเนลล์ 2) แบบรูป 3) แบบวิกเกอร์ส (Craig และ Powers, 2002)

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทดสอบความแข็งในระดับไมโคร ซึ่งเป็นการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวร (permanent deformation) เท่านั้น (Craig และ Powers, 2002) ดังนั้นค่าความแข็งที่ได้จะมากกว่าความเป็นจริง (overestimate) เนื่องจากการวัดความลึกของรอยกดหลังจากวัสดุมีการคืนสภาพยืดหยุ่น (elastic recovery) แล้ว (Willems และคณะ, 1993) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดนั้น บางผลิตภัณฑ์มีขนาดของวัสดุอัดแทรกขนาด 0.04 ไมโครเมตร (Ferracane, 1995) และบางผลิตภัณฑ์มีการผลิตวัสดุอัดแทรกที่มีอนุภาคในระดับนาโนเมตร (Mitra และคณะ,

2003) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ารอยกดของหัวกดในการทดสอบความแข็งในระดับไมโคร ทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ทดสอบความแข็งในระดับนาโนขึ้นมา ซึ่งระบบนี้เป็นการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวรรวมถึงวัดการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) อีกด้วย การแปลผลไม่ได้ใช้การวัดขนาดของรอยกดโดยสายตาเป็นตัวประเมิน

นอกจากนี้เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน ยังสามารถกำหนดแรงที่กดและวัดความลึกที่หัวกดเคลื่อนตัวลงไปบนพื้นผิวทั้งในขณะที่ให้โหลด (load) และอันโหลด (unload) ดังนั้นการแปลผลข้อมูลจะกระทำผ่านเครื่องมือเคปเซนซิ่งอินเดนเตชัน (depth-sensing indentation instruments) อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ค่อนข้างมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal variation) และการสั่นสะเทือน (vibration) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิและการสั่นสะเทือนจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการทดสอบแบบนี้ (Doerner และ Nix, 1986)

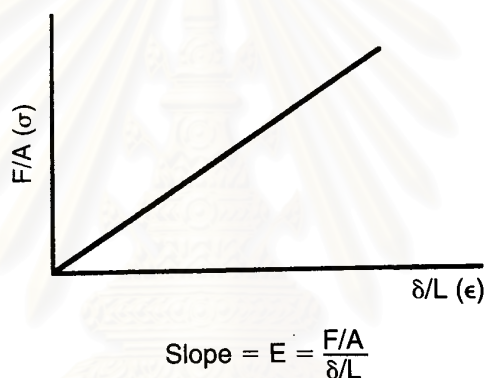


รูปที่ 6 ลักษณะกราฟพี-เอช (P-h graph) แสดงแรงที่กดลงบนวัสดุ (load; P) กับ ความลึกของรอยกด (penetration depth; h) (Toparli และ Koksai, 2005)

สำหรับการทำงานของเครื่องวัดความแข็งในระดับนาโนนั้น หัวกดจะกดโดยแรงที่กำหนด ความลึกจะถูกวัด และสร้างเป็นกราฟฟอร์ซ-ดิสเพลสเมนต์ (force-displacement curve) จากรูปที่ 6 จุด A คือจุดเริ่มต้นที่หัวกดสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ และแรงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุด B โดยเส้นโค้ง AB (loading curve) เป็นช่วงที่หัวกดกดเข้าไปในเนื้อวัสดุ และเส้นโค้ง BC (unloading curve) เป็นช่วงเอาหัวกดขึ้นมาจากเนื้อวัสดุ ถ้าวัสดุมีความยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ เส้น AB และเส้น BC จะเป็นเส้นเดียวกัน (identical) อย่างไรก็ตามหากวัสดุสามารถ

เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ระยะ AC คือระยะที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) ดังนั้นพื้นที่ ABC คือพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร พื้นที่ CBB' คือ พลังงานที่วัสดุสามารถยืดหยุ่นคืนได้ และพื้นที่ ABB' คือพลังงานทั้งหมดที่วัสดุได้กระทำ (Toparli และ Koksai, 2005)

ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น เป็นการบอกถึงความสัมพันธ์ในเรื่องสตีเฟนของวัสดุที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่น (elastic range) ซึ่งวัดได้จากความชัน (slope) ของบริเวณยืดหยุ่นในกราฟความเค้น-ความเครียด (stress-strain curve) (Anusavice, 2003) คุณสมบัตินี้ถือเป็นคุณสมบัติพื้นฐาน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุ หน่วยที่ใช้เป็นจิกะปาสกาล (GPa) (Craig และ Powers, 2002)



รูปที่ 7 แสดงกราฟความเค้น-ความเครียด และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (E) ซึ่งเป็นค่าความชันของเส้นกราฟ (Craig และ Powers, 2002)

ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพันธวัสดุสามารถหาได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบแบบแรงดึง (tension) แรงกด (compression) และแรงเฉือน (shear) ซึ่งคำนวณได้จากความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด เช่นการทดสอบแบบรีพอยท์เบนดิง (three-point bending test) ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 4049 (ISO-4049) นอกจากวิธีการดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีผู้ที่นำเครื่องทดสอบความแข็ง (hardness method) มาใช้ในการหาค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นได้เช่นกัน (Willems และคณะ, 1993; Meredith และคณะ, 1996; Suansuwan และ Swain, 2001; Xu และคณะ, 2003)

โดยส่วนใหญ่การคำนวณความเค้นของกราฟความเค้น-ความเครียด จะสมมุติให้พื้นที่ตัดขวาง (cross sectional area) ของวัสดุมีค่าคงที่ ในขณะที่ความเป็นจริงเมื่อให้แรงดึงกับ

วัสดุที่ทดสอบ พื้นที่ตัดขวางจะมีการเปลี่ยนแปลงจากการที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งส่งผลให้ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าค่าความเค้นจริง (Craig และ Powers, 2002) นอกจากนี้เครื่องทดสอบความแข็งในระดับไมโคร ก็ยังสามารถคำนวณหาค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการคำนวณนี้เป็นการคำนวณหลังจากที่วัสดุมีการคืนสภาพแล้ว (Meredith และคณะ, 1996) ในขณะที่การทดสอบความแข็งในระดับนาโน สามารถหาค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุได้ตลอดช่วงความลึกของพื้นผิวที่ถูกกดทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการมากกว่าการทดสอบวิธีอื่น ๆ (Doerner และ Nix, 1986) มีการศึกษาพบว่าค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต ขึ้นกับสัดส่วนของเรซินเมทริกซ์ โดยเรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณของสารบิส-จีเอ็มเอร้อยละ 50 ที่อีอีเอ็มเอร้อยละ 50 จะให้ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงถึง 10.5 จิกะปาสคาล ในขณะที่ถ้ามีปริมาณของสารยูอีเอ็มเอร้อยละ 70 และที่อีอีเอ็มเอร้อยละ 30 จะให้ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นเพียง 8 จิกะปาสคาล (Asmussen และ Peutzfeldt, 1998) นอกจากนี้ขึ้นกับปริมาณของวัสดุอัดแทรก โดยวัสดุบูรณะที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อยจะทำให้วัสดุนั้นมีความยืดหยุ่นสูงและสติเฟเนสต่ำ (Kakaboura และคณะ, 2003)

จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่า ค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุบูรณะทางทันตกรรม การทดสอบความแข็งในระดับนาโนนั้น เป็นวิธีที่สามารถหาคุณสมบัติเหล่านี้ได้ อีกทั้งการแปลผลข้อมูลมีความถูกต้อง แม่นยำมากกว่าการทดสอบความแข็งในระดับไมโคร เนื่องจากผ่านเครื่องมือเคปเซนซึ่งอินเดนเตชัน และการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการทดสอบความแข็งในระดับนาโนกับผิวเคลือบฟัน เนื้อฟัน รวมถึงวัสดุบูรณะบางประเภทเท่านั้น

3.2 ความลึกของการแข็งตัวและความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (depth of cure and uncured film thickness)

ค่าความลึกของการแข็งตัว มีความสำคัญต่อวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีการกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยพลังงานแสงซึ่งรวมถึงวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันด้วย มีการศึกษาพบว่าชนิดของแสง ความยาวคลื่นของแสง ความเข้มแสง และระยะเวลาในการฉายแสง มีผลต่อความลึกของการแข็งตัว โดยความยาวคลื่นของแสงจะต้องกว้างพอ ที่จะครอบคลุมถึงสารเริ่มต้นปฏิกิริยาของวัสดุบูรณะ และระยะเวลาการฉายแสงที่นาน จะทำให้มีการแข็งตัวของวัสดุในระดับความลึกที่มากขึ้น (Tanoue และคณะ, 1998) สีของวัสดุบูรณะมีผลต่อความลึกของการแข็งตัว กล่าวคือ วัสดุเรซินคอมโพสิตที่มีสีเข้ม สารสี (pigments) จะมีการดูดซับแสงมาก ทำให้แสงแพร่ผ่านลงในเนื้อเรซิน

ได้น้อยกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีสีอ่อน (Tarle และคณะ, 1995) นอกจากนี้ขนาด และปริมาณของ วัสดุอุดแทรกส่งผลต่อความลึกของการแข็งตัวเช่นกัน โดยวัสดุที่มีขนาดของวัสดุอุดแทรกเล็ก เมื่อ มีการกระตุ้นด้วยพลังงานแสง แสงจะมีการกระจาย (scatter) มากกว่า ส่งผลให้การผ่านของแสงลง ไปในเนื้อวัสดุน้อยลง (Mills และคณะ, 1999)

หลังจากที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีการเกิดพอลิเมอร์เรียบร้อยแล้ว ออกซิเจนใน อากาศจะเป็นตัวขัดขวางการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินบริเวณพื้นผิว ส่งผลให้บริเวณชั้นบนสุดของ เรซินเป็นชั้นที่ไม่แข็งตัว โดยพบว่าความหนาของชั้นที่ไม่แข็งตัวนี้ขึ้นกับความหนืด (viscosity) ของเรซิน กล่าวคือเรซินที่มีความหนืดน้อย ออกซิเจนแพร่ผ่านได้ง่าย ทำให้ชั้นของเรซินที่ไม่ แข็งตัวหนามากกว่าเรซินที่มีความหนืดมาก และจากการศึกษาความหนาของชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัว ผ่านกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นเป็นเส้นสีดำ (dark line) ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความแตกต่างกันของการหักเห แสง (refraction) ของวัสดุที่แข็งตัวเต็มที่แล้วกับวัสดุที่ไม่แข็งตัว (Ruyter, 1981) นอกจากนี้ ชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัวยังมีความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxic) อีกด้วย (Mohsen และคณะ, 1998) ในทางคลินิกพบว่าพื้นผิวของเรซินที่ไม่แข็งตัว มีลักษณะเหนียว (tacky surface) สมควรกำจัด ออก โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัวออกโดยวิธีการต่าง ๆ คือ การเป่าลม การล้างน้ำ การใช้สำลีแห้ง สำลีชุบน้ำ และการขัดด้วยผงขัดฟันpumice พบว่า การใช้ผง ขัดฟันpumiceมีประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัวมากที่สุด (Rueggerberg & Dlugokinski, 1999) ดังนั้นเพื่อให้ผู้ป่วยลดโอกาสการสัมผัสกับเรซินที่ไม่แข็งตัว ทันตแพทย์ควร กำจัดชั้นเรซินนี้โดยการขัดผิวด้วยผงขัดฟันpumice (Rueggerberg & Dlugokinski, 1999) หรือใช้สำลี ชุบน้ำหมาด (Craig และ Powers, 2002)

การทดสอบตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 วัสดุ เคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซินสำหรับงานทันตกรรม (Dental resin-based pit and fissure sealants) มีการกำหนดสมบัติทางกายภาพที่ทดสอบ คือ ความลึกของการแข็งตัว และความหนา ของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว โดยค่าความลึกของการแข็งตัวต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และความ หนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวน้อยกว่า 100 ไมโครเมตร (ISO 6874, 1988)

3.3 การดูดซับน้ำและการละลายน้ำ (water sorption and solubility)

เรซินคอมโพสิตจะเกิดการดูดซับน้ำและละลายน้ำไปพร้อม ๆ กัน โดยเมื่อนำวัสดุมาแช่ในน้ำเป็นระยะเวลาสั้น วัสดุจะมีการดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วและการละลายน้ำจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ มีการศึกษาพบว่าเรซินคอมโพสิตมีอัตราการดูดซับน้ำเร็วที่สุดในช่วงสัปดาห์แรก และจะค่อย ๆ ลดลงจนเข้าสู่สมดุล เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1-2 เดือน (Oysaed และ Ruyter, 1986) องค์ประกอบของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต มีผลต่อการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ โดยเรซิน คอมโพสิตที่มีสารบิส-จีเอ็มเอเป็นส่วนประกอบ จะมีการดูดซับน้ำน้อยกว่าสารยูจีเอ็มเอ (Palin และคณะ, 2003) เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของสารบิส-จีเอ็มเอมีกลุ่มออกซิเจน (oxygen-containing groups) ภายในสายมอนอเมอร์น้อย ส่งผลให้มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากกว่า (Williams และคณะ, 1975) ปริมาณของวัสดุอัดแทรกก็มีผลเช่นกัน โดยมีการเปรียบเทียบการดูดซับน้ำที่เวลา 7 วัน พบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดไม่มีวัสดุอัดแทรก มีการดูดซับน้ำ 2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดที่มีวัสดุอัดแทรกมีการดูดซับน้ำ 1.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ส่งผลต่อการละลายน้ำของวัสดุบูรณะอีกด้วย โดยวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตที่มีการเกิดพอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดการดูดซับน้ำและการละลายน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุตามมา (Craig และ Powers, 2002)

การทดสอบตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 สำหรับวัสดุอุดฟันชนิดเรซิน (Dentistry –Resin-based filling materials) มีการกำหนดสมบัติทางกายภาพที่ทดสอบ คือ การดูดซับน้ำและการละลายน้ำ โดยค่าการดูดซับน้ำต้องมีค่าน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และการละลายน้ำน้อยกว่า 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร (ISO 4049, 2000)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใส (PrevoTM care, คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานใน ปริมาตรร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก
3. เส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซาน (สังเคราะห์โดยวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเลียมเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
4. หลอดฉีดยา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร
5. โลหะรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร
6. แผ่นแก้วปิดสไลด์ (cover slip) ความหนา 0.15 มิลลิเมตร
7. แบบหล่อเทฟลอน (teflon mold) ชนิดแยกส่วนได้ จำนวน 2 ชิ้น
8. แบบพิมพ์โลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร
9. สารเรซินหล่อใส (ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์, ประเทศไทย)
10. ขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax)
11. ถ้วยยางและใบพายพลาสติกสำหรับผสมเรซิน
12. สารดูดความชื้น (desiccant) (ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์, ประเทศไทย)
13. กระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียดเบอร์ 600, 1200 (Metprep, IMPTECH, Boksburg, South Africa)
14. ผงขัดกากเพชร (diamond abrasive suspension) ขนาด 9, 3, และ 1 ไมโครเมตร (LECO, LECO corporation, MI, USA)
15. ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 0.05 ไมโครเมตร (IMPTECH, Boksburg, South Africa)
16. ฐานโลหะสำหรับยึดชิ้นงาน (metal base) (Ultra-Micro Indentation System [UMIS], the Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation [CSIRO], Sydney, Australia)

17. เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน (Ultra-Micro Indentation System [UMIS], the Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation [CSIRO], Sydney, Australia)
18. เครื่องฉายแสง (Elipar[®] Trilight, 3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, USA)
19. เครื่องตรวจสอบความเข้มแสงเครื่องฉายแสง (Optilux radiometer model 100, Kerr, USA)
20. เครื่องขัดผิววัสดุ (Polishing machine รุ่น DPS 3200, IMPTECH, Boksburg, South Africa)
21. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic Cleaner, รุ่น 5210, BRANSONIC, Germany)
22. เตาไฟฟ้า (Hotplate, รุ่น HP-46510-26, Thermolyne, USA)
23. เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (Digimatic Micrometer, Mitutoyo, Japan) ที่ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร
24. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ระบบดิจิตอล (รุ่น SBA 31, Scaltec, Germany) ที่ความละเอียด 0.0001 กรัม
25. ก่อจตุรกรรมจากเครื่องวัดความแข็งผิวในระดับไมโคร (FM-700e, Future-Tech, Japan)
26. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (CONTHERM 160M, CONTHERM Scientific LTD., New Zealand)

วิธีการวิจัย

1. การทดสอบความแข็งในระดับนาโน

1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความแข็งในระดับนาโน วัสดุที่ทดสอบมีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก

1.1.1 นำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน หยดลงในหลอดฉีดยาที่ตัดไว้แล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร หยดวัสดุจนเต็ม

1.1.2 นำแผ่นแก้วปิดสไลด์ปิดทับด้านบน ฉายแสง (ความเข้ม 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) เป็นเวลา 20 วินาทีโดยเครื่องฉายแสง ภายหลังจากฉายแสงให้นำชิ้นทดสอบออกจากหลอดฉีดยา

1.1.3 นำชิ้นทดสอบวางบนแบบหล่อเทฟลอนที่บริเวณฐาน(รูปที่ 8)

1.1.4 ทำการผสมสารเรซินหล่อใสในสัดส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด และเทเรซินใสลงในแบบหล่อเทฟลอน รอให้เรซินใสแข็งตัวเต็มที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 8 แสดงแบบหล่อเทฟลอนที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ

1.1.5 การจัดตั้งชิ้นทดสอบบนเครื่องขัดผิววัสดุ มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน

1.1.5.1 ขั้นตอนที่ 1 นำชิ้นทดสอบจัดบนกระดาษทรายเบอร์ 600 เพื่อให้ชิ้นทดสอบเรียบ จนกระทั่งไม่พบรอยขีดข่วนที่ลึกกว่ารอยขีดข่วนที่เกิดจากกระดาษทรายเบอร์ 600 หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

1.1.5.2 ขั้นตอนที่ 2 นำชิ้นทดสอบจัดบนกระดาษทรายเบอร์ 1,200 จนกระทั่งไม่พบรอยขีดขูดจากการใช้กระดาษทรายเบอร์ 600 แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงอีก 10 นาทีเพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

1.1.5.3 ขั้นตอนที่ 3 นำชิ้นทดสอบขัดด้วยผงขัดกากเพชรขนาด 9 ไมโครเมตร โดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุ (รูปที่ 9) ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จนไม่พบรอยขีดขูดจากกระดาษทรายเบอร์ 1,200 แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงอีก 10 นาที เพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

1.1.5.4 ขั้นตอนที่ 4 ใช้ผงขัดกากเพชรขนาด 3 ไมโครเมตร โดยมีกระบวนการขัดเหมือนขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งไม่พบรอยขีดขูดของผงขัดกากเพชรขนาด 9 ไมโครเมตร แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง จากนั้นใช้ผงขัดกากเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร โดยมีกระบวนการขัดเหมือนขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งไม่พบรอยขีดขูดของผงขัดกากเพชรขนาด 3 ไมโครเมตร แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงอีก 10 นาที เพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

1.1.5.5 ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนสุดท้าย ใช้ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 0.05 ไมโครเมตร โดยมีกระบวนการขัดเหมือนขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งไม่พบรอยขีดขูดของผงขัดกากเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร แล้วนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 10 นาที เพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

1.1.5.6 ทำการตรวจสอบความเรียบของชิ้นทดสอบ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 9 แสดงภาพเครื่องขัดผิววัสดุที่ใช้ในการขัดชิ้นทดสอบ

1.1.6 การยืดขึ้นทดสอบให้ติดกับฐานโลหะ

หลอมขี้ผึ้งเหนียวให้ร้อนบนฐานโลหะที่วางบนแผ่นรับความร้อนของเตาไฟฟ้า นำขึ้นทดสอบวางบนขี้ผึ้งที่เริ่มหลอม หลังจากนั้นนำขึ้นทดสอบที่ติดกับฐานโลหะ เข้าเครื่องมือกดขึ้นงาน (รูปที่ 10) เพื่อให้ขึ้นงานขนาน แล้วรอนขึ้นงานยื่นตัวลงอย่างน้อย 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องทดลอง



รูปที่ 10 แสดงภาพเครื่องมือกดขึ้นงานให้ขนาน

1.2 การทดสอบความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น โดยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

1.2.1 นำขึ้นทดสอบที่ติดกับฐานโลหะ ไปวางบนแท่นทดสอบของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน โดยทำการทดสอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิและทำการทดสอบในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 10 %

1.2.2 การกำหนดตำแหน่งและการทำงานของเครื่อง

1.2.2.1 เลือกหัวกด โดยใช้หัวกดชนิดเบอร์โกวิช (Berkovich indenter) ซึ่งเป็นหัวเพชรที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีมุม 65.3 องศา

1.2.2.2 เลือกแรงกดสูงสุด (maximum indentation force) คือ 500 มิลลินิวตัน ซึ่งเป็นค่าแรงกดสูงสุดที่เครื่องสามารถทำงานได้ การวัดค่าความแข็งจะทำตามข้อปฏิบัติของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนดังนี้

การกดของหัวกดใน 1 รอยกด เครื่องจะทำการกดหัวกดลงบนผิวของชิ้นทดสอบ โดยเริ่มที่แรงสัมผัส (contact force) 0.1 มิลลินิวตัน เพื่อให้หัวกดรู้ว่าสัมผัสกับผิววัสดุแล้วและพร้อมจะเริ่มต้น ขั้นตอนการกดหลังจากนั้นจะกดเป็นช่วง ๆ (step) โดยกำหนดให้เป็น 20 ช่วงของการกด (increment) เริ่มจากแรง 0 จนกระทั่งถึงแรงกดสูงสุด 500 มิลลินิวตัน และคงแรงที่ 500 มิลลินิวตันเป็นเวลา 60 วินาที เพื่อให้เกิดครีป (creep) ให้มากที่สุด ก่อนที่จะลดแรงลงเป็นช่วง ๆ โดยลดแรงจาก 500 มิลลินิวตัน อีก 20 ช่วง (decrement) จนแรงมีค่าเป็น 0 ซึ่งการกดและปล่อยดังกล่าวจะทำให้ได้กราฟดังรูปที่ 6 ทำให้เครื่องสามารถคำนวณค่าความแข็งที่จุดแรงกดสูงสุด และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นจากกราฟอัน โหลด รายละเอียดกระบวนการทดสอบอ้างอิงจากการศึกษาของ Angker และคณะในปี 2004

1.2.2.3 รูปแบบการกดจะกำหนดให้เป็นแบบ mapping จำนวน 5x4 รอยกดและกำหนดระยะห่างของแต่ละรอยกด (interval) คือ 200 ไมโครเมตรทั้งแกน x และ y

1.2.2.4 กำหนดการเริ่มต้นทำงานของเครื่อง จะเริ่มต้นหลังจากตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว (start delay) อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในตัวควบคุมอุณหภูมิคงที่

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของการทดสอบความแข็งในระดับนาโน (nanohardness test parameters)

วัสดุที่ทำการทดสอบ	วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีไอแคร์ชนิดใส วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีไอแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย วิสเกอร์ของสารโคโคซานที่ปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5 และ 6.5 โดยน้ำหนัก
จำนวนชิ้นงานทดสอบ	อย่างละ 5 ชิ้นต่อผลิตภัณฑ์
ชนิดของหัวกด	เบอร์โกวิท
แรงที่สัมผัส	0.1 มิลลินิวตัน
แรงกดสูงสุด	500 มิลลินิวตัน
อินคริเมนต์/เดคริเมนต์ (increment/decrement)	20/20
รูปแบบการกดแบบ mapping	5x4 รอยกด
ช่วงระยะห่างระหว่างรอยกด	200 ไมโครเมตร
เวลาที่ช่วง(delay) ระหว่างรอยกด	1 วินาที
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 10 %

1.3 เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ นำข้อมูลค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติ

1.4 หลังจากได้ค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีไอแคร์ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว จะนำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ที่ความเข้มข้นเดียวที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและค่าความแข็งสูงสุด นำไปทดสอบมาตรฐานไอเอสไอ ซึ่งทางคณะผู้ศึกษาในเรื่องประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก พบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนักมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึง

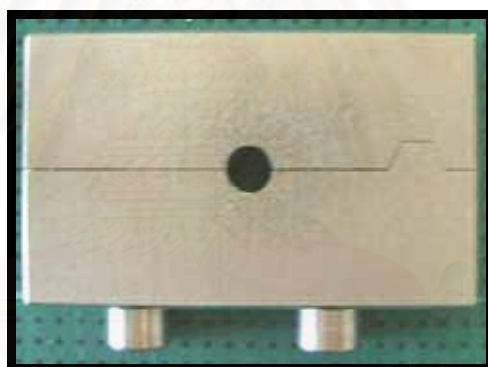
ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ร่วมกับข้อค้อยของสารโคโตซานในเรื่องของการดูดซับน้ำ จึงพิจารณานำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนักไปทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ

2. การทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988

2.1 ความลึกของการแข็งตัว (depth of cure)

2.1.1 ชั้นทดสอบจำนวน 5 ชั้นต่อผลิตภัณฑ์ รวมเป็น 10 ชั้น ถูกนำมาทดสอบในขั้นตอนนี้

2.1.2 เตรียมชั้นทดสอบโดยนำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวลีแอร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวลีแอร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและค่าความแข็งสูงสุด หยดลงในแบบพิมพ์โลหะรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร จนเต็ม (รูปที่ 11)

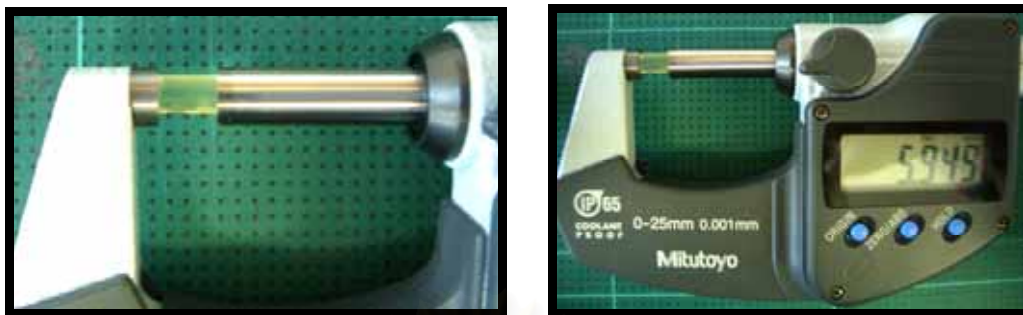


รูปที่ 11 แสดงภาพแบบพิมพ์โลหะรูปทรงกระบอก

2.1.3 นำแผ่นแก้วปิดสไลด์ปิดทับด้านบน ฉายแสงโดยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที

2.1.4 หลังจากนั้นทำการแยกชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ ใช้กระดาษทิชชูเช็ดส่วนวัสดุที่ไม่แข็งตัวออกจากด้านล่างของชั้นทดสอบ

2.1.5 ใช้เครื่องมือวัดความหนาแบบดิจิตอล ที่ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร วัดความลึกของการแข็งตัวจากความสูงของชั้นทดสอบ (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 แสดงขั้นตอนการวัดความหนาของชั้นทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความหนาแบบดิจิทัล

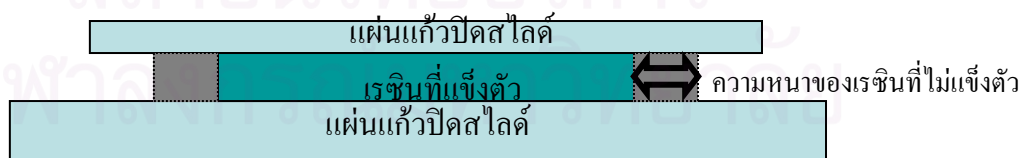
2.2 ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (uncured film thickness)

2.2.1 ชั้นทดสอบจำนวน 5 ชั้นต่อผลิตภัณฑ์ รวมเป็น 10 ชั้น ถูกนำมาทดสอบในขั้นตอนนี้

2.2.2 หยดวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจำนวน 1 หยด ลงบนแผ่นแก้วปิดสไลด์

2.2.3 นำแผ่นแก้วปิดสไลด์อีกแผ่นปิดทับด้านบน ทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง เป็นเวลา 20 วินาที (รูปที่ 13)

2.2.4 ทำการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์จากเครื่องวัดความแข็งผิวในระดับไมโคร (รูปที่ 14) กำลังขยาย 500 เท่า ที่เวลา 5 นาที โดยวัดแถบความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวที่ล้อมรอบวัสดุที่แข็งตัว 4 ตำแหน่งต่อชั้นทดสอบที่ความละเอียด 0.01 ไมโครเมตร และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้น



รูปที่ 13 แสดงภาพการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว



รูปที่ 14 แสดงภาพเครื่องวัดความแข็งผิวในระดับไมโคร

3 การทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000

3.1 การดูดซับน้ำและการละลายน้ำ (water sorption and solubility)

3.1.1 ชี้นทดสอบจำนวน 5 ชี้นต่อผลิตภัณฑ์ รวมเป็น 10 ชี้น ถูกนำมาทดสอบในขั้นตอนนี้

3.1.2 ทำการหยควัสดุเคลือบหลุมร่องฟันลงแบบพิมพ์โลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 แสดงแบบพิมพ์โลหะที่ใช้ในการเตรียมชี้นทดสอบ

3.1.3 นำแผ่นแก้วปิดสไลด์ปิดทับด้านบนฉายแสงโดยเครื่องฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาทีต่อครั้ง ทำการฉายแสงให้ซ้อนเหลื่อม (overlap) กัน จำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อให้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีการเกิดพอลิเมอร์ทั้งชิ้น

3.1.4 นำชิ้นทดสอบเก็บในสถานะที่มีสารดูดความชื้น อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

3.1.5 หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ระบบดิจิทัล ที่ความละเอียด 0.0001 กรัม จนกระทั่งชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่แล้ว บันทึกน้ำหนักครั้งที่ 1 (m1)

3.1.6 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ทำการซับน้ำส่วนเกินบนกระดาษกรอง จนกระทั่งไม่เห็นความชื้นบนพื้นผิว ทำการบันทึกน้ำหนักครั้งที่ 2 (m2) โดยระยะเวลาในการชั่งน้ำหนักต้องไม่เกิน 1 นาทีหลังจากนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ

3.1.7 นำชิ้นทดสอบเก็บในสถานะที่มีสารดูดความชื้น อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง จนชิ้นทดสอบน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักครั้งที่ 3 (m3)

3.1.8 นำค่าน้ำหนักที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ

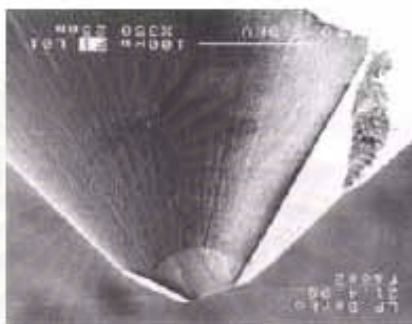
การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การคำนวณค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น

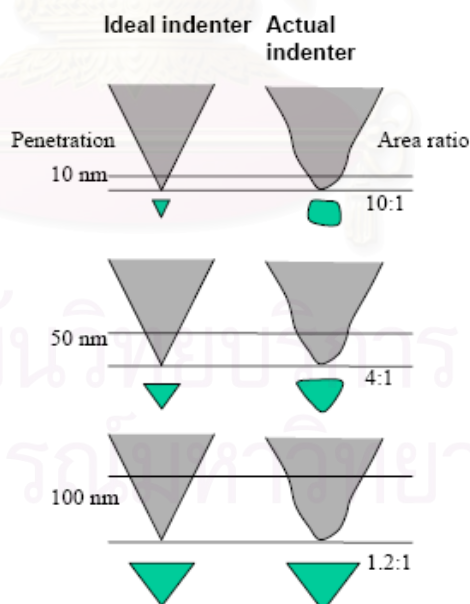
เครื่องวัดความแข็งในระดับนาโน สามารถทดสอบสถานะแรงกดในระดับมิลลินิวตันและความลึกในระดับนาโนเมตร กล่าวคือเมื่อวัดความแข็งในระดับมิลลินิวตัน ปลายหัวกดจะกดลงไปแค่ความลึกในระดับนาโนเมตรเท่านั้น แต่เนื่องจากปลายหัวกดไม่สามารถสร้างให้แหลมและเป็นรูปสามเหลี่ยมตามรูปร่างในอุดมคติได้ในระดับนาโนเมตร ดังนั้นปลายหัวกดจึงไม่เป็นรูปร่างสามเหลี่ยมเหมือนฐานของหัวกดและมีพื้นที่ที่แตกต่างไปจากความเป็นจริง (รูปที่ 16 และ 17) จึงไม่สามารถคำนวณได้จากสูตร ต้องทำการเทียบมาตรฐาน (calibrate) โดยใช้ฟิวส์ซิลิกา (fused silica) เนื่องจากฟิวส์ซิลิกาเป็นวัสดุที่มีความแข็งสม่ำเสมอ และเมื่อให้แรงกดตั้งแต่แรงน้อย

ไปจนถึงแรงมาก จะทำให้สามารถหาพื้นที่จริงของรอยกดในระดับความลึกต่าง ๆ กันในระดับความลึกเป็นนาโนเมตรได้

จากพื้นที่จริงของรอยกดที่เกิดจากหัวกดดังกล่าวในแต่ละระดับความลึก จะใช้ค่าที่หาได้ในการคำนวณค่าความแข็งได้อย่างถูกต้อง

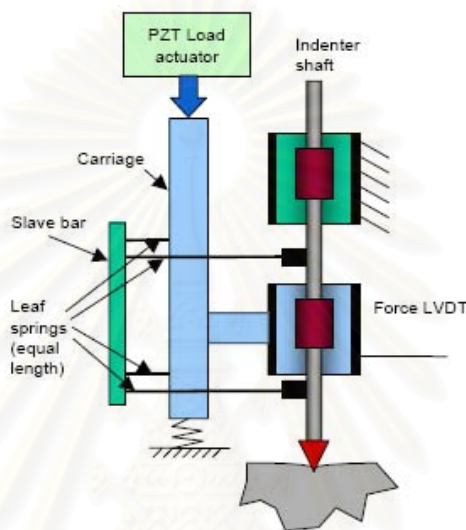


รูปที่ 16 แสดงลักษณะปลายหัวกดเบอร์โกวิทที่มีมุมไม่แหลมตามรูปร่างในอุดมคติ (Fischer-Cripps, 2004)



รูปที่ 17 แสดงสัดส่วนพื้นที่ระหว่างปลายหัวกดอุดมคติ และปลายหัวกดที่กดจริงในระดับความลึก 10, 50, และ 100 นาโนเมตร โดยรอยกดจริงจะมีพื้นที่มากกว่ารอยกดอุดมคติ (Fischer-Cripps, 2004)

สำหรับความลึก เครื่องวัดความแข็งในระดับนาโนจะมีอุปกรณ์รับรู้ระดับแรงและความลึก เรียกว่า Linear Variable Differential Transformers (LVDT) เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะ (รูปที่ 18) เมื่อเครื่องอ่านความลึกได้ จะสามารถคำนวณพื้นที่ของรอยกดได้ทันทีในส่วนที่มีรูปร่างในอุดมคติ แต่ส่วนปลายก็จะใช้สัดส่วนที่ได้จากรูปที่ 17 เป็นพื้นที่จริงที่เกิดขึ้นจากการกดในระดับนาโนเมตร



รูปที่ 18 แสดงการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน (Fischer-Cripps, 2004)

ค่าความแข็ง (H) ของวัสดุ คือ แรงกด (contact pressure) ภายใต้พื้นที่ของรอยกด (Bell และคณะ, 1991/1992)

$$H = \frac{P}{A}$$

P = แรงที่ใช้กด

A = พื้นที่ของรอยกด

ซึ่ง $A = k(h_p)^2$

โดย k คือ ค่าคงที่จีโอเมทริกซ์ (geometric constant) ของหัวกด สำหรับหัวกดเบอร์โกวิชมีค่าเท่ากับ 24.5

h_p คือ ความลึกของรอยกดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร

ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุ ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุด (Bell และคณะ, 1991/1992)

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu^2}{E} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i}$$

ν = ค่า Poisson's ratio ของวัสดุที่ทดสอบ (เท่ากับ 0.24) (Craig และ Powers, 2002)

E = ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุที่ทดสอบ

ν_i = ค่า Poisson's ratio ของห้วกค (เท่ากับ 0.07) (Fischer-Cripps, 2005)

E_i = ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของห้วกค (เท่ากับ 1,140 จิกะปาสกาล)

(Fischer-Cripps, 2005)

โดย ค่า E^* พิจารณาจากอัตราการคืนตัว (recovery rate) ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุดในสภาวะอันโหด

$$E^* = \left[\frac{dF}{dhe} \right]_{fmx} \frac{1}{2A}$$

โดย ค่า $[dF/dhe] = S$ คือ ความชันของ ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุดของเส้นโค้งอันโหด ดึงคิสเพลสเมนต์ (unloading-displacement curve) (เส้น BC ในรูปที่ 6)

ค่า A = พื้นที่ผิวสัมผัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การคำนวณค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ

ค่าการดูดซับน้ำ (Wsp) คำนวณจาก

$$Wsp = \frac{m_2 - m_3}{V}$$

ค่าการละลายน้ำ (Wsl) คำนวณจาก

$$Wsl = \frac{m_1 - m_3}{V}$$

โดย ค่า m_1 = ค่าน้ำหนักครั้งที่ 1

ค่า m_2 = ค่าน้ำหนักครั้งที่ 2

ค่า m_3 = ค่าน้ำหนักครั้งที่ 3

ค่า V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ คำนวณจากค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในสองตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน และความหนาในตำแหน่งที่วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งและกลางชิ้นทดสอบอีกหนึ่งตำแหน่ง โดยใช้เครื่องวัดระยะที่มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร (ISO 4049:2000)

3. ทดสอบความแตกต่างของค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ

3.1 กรณีประชากรมีการแจกแจงปกติ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance) และทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบอนเฟอโรนนิ (Bonferroni) กรณีมีความแตกต่างกันของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) จะทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทามเฮนส์ (Tamhane's)

3.2 กรณีประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติ จะทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติครุสคัล-วัลลิส เอช เทส (Kruskal-Wallis H Test) และทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (Multiple comparisons between treatments)

4. ทดสอบความแตกต่างความถี่ของการแข็งตัว ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว การดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแคร์ และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสาร ไคโตซาน ที่มีประสิทธิภาพด้านเชื้อแบคทีเรียสูงสุดและความแข็งสูงสุด

4.1 กรณีประชากรมีการแจกแจงปกติ จะทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติอินดิเพนเดนท์แซมเปิล ที-เทส (Independent sample T-test)

4.2 กรณีประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติ จะทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติแมน-วิทนียู เทส (Mann-Whitney U test)

โดยทั้งหมดจะทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเอส พี เอส เอส เวอร์ชัน 11.5 (SPSS version 11.5) กำหนดค่านัยสำคัญที่ $p\text{-value} < 0.05$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 การศึกษาความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ ของสารโคโตซาน ในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองพบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด (0.2225 จิกะปาสคาล) รองลงมาเป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 6.5, และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใส มีค่าเฉลี่ยความแข็งต่ำที่สุด (0.2018 จิกะปาสคาล) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความแข็ง (จิกะปาสคาล) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ (จำนวน 5 ซีนตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	ค่าเฉลี่ยความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
พีวีแคร์	0.2018 ^a	0.0169
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก	0.2225 ^b	0.0084
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	0.2199 ^{a,b}	0.0088
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก	0.2052 ^{a,b}	0.0070
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก	0.2077 ^{a,b}	0.0060

*อักษรตัวกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รายละเอียดข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ 1-29

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบอนเฟอโรนี สำหรับค่าความแข็งที่ความชื้นร้อยละ 95 พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งสูงกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก และค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก

ส่วนค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นพบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงสุด (3.4727 จิกะปาสคาล) รองลงมาเป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5, 6.5 และ 3.3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันพีวีแคร์ชนิดใสมีค่าเฉลี่ยมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นต่ำที่สุด (3.2324 จิกะปาสคาล) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ (จำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	ค่าเฉลี่ยค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีวีแคร์	3.2324 ^a	0.1697
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก	3.4727 ^a	0.0560
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	3.3914 ^a	0.1016
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก	3.4442 ^a	0.0790
พีวีแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก	3.4295 ^a	0.0564

*อักษรตัวยกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความชื้นร้อยละ 95

รายละเอียดข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ 1-26, 30-33

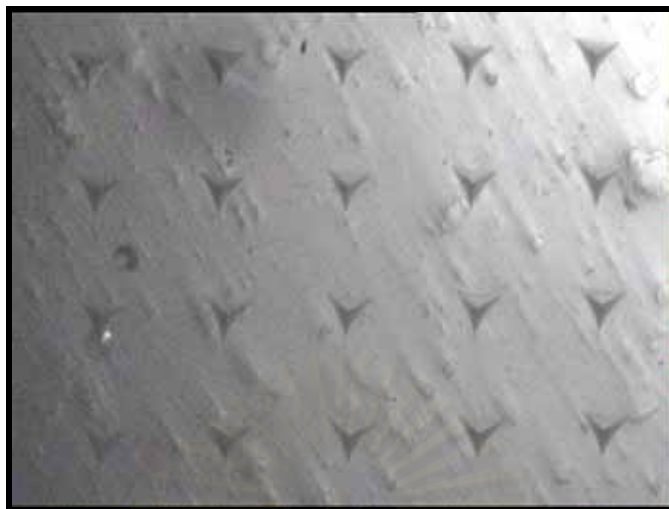
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดตามเฮนส์ สำหรับค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ความถี่ 95 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใส วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย วัสดุของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก



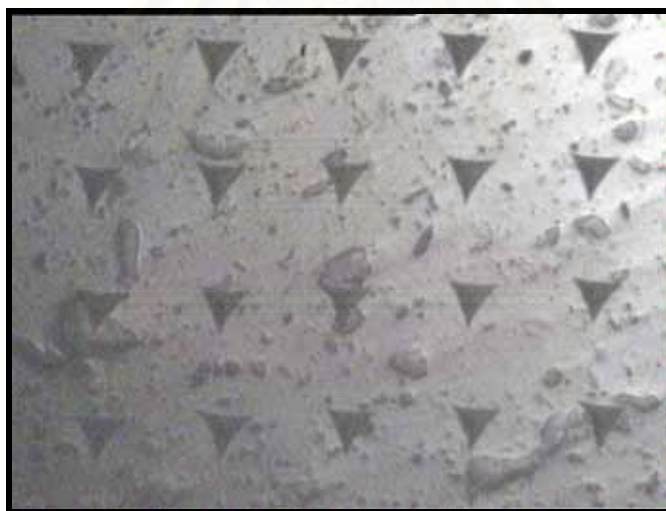
รูปที่ 19 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใสที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 20 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย วัสดุของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 21 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโพลิเมอร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย
วิสเกอร์ของสารโพลีโธซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 22 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโพลิเมอร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย
วิสเกอร์ของสารโพลีโธซานในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 23 แสดงรอยกดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอีพ็อกซีเรซินชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10 เท่า

จากผลการทดสอบในตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอีพ็อกซีเรซินชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ ทพญ. รัชดาภรณ์ แก้วมงคลกิจ และ รศ.ทพ.ดร. ประสิทธิ์ ภาวสันต์ ในเรื่องประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุทั้งหมดมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (รูปที่ 24) โดยประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 25) ไม่มีความแตกต่างกันในช่วงระยะเวลา 72 ชั่วโมง

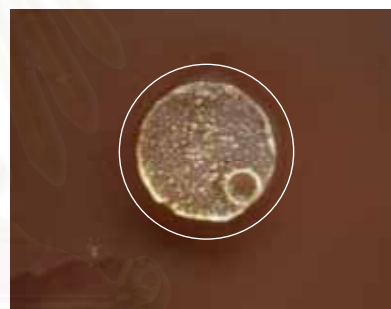
ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโคซาน ร่วมกับสมบัติทางกายภาพในเรื่องความแข็งของวัสดุ จึงพิจารณานำวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มาทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 และ 4049:2000 โดยเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันอีพ็อกซีเรซินชนิดใสต่อไป



รูปที่ 24 แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ ของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดย น้ำหนัก



a) 1.2%w



b) 3.3%w



c) 5%w



d) 6.5%w

รูปที่ 25 แสดงอินฮิบิทอรี เฮโล (inhibitory halo) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใย วิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2, 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก

ตอนที่ 2 การศึกษาตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ในเรื่องความลึกของการแข็งตัว และความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว และมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ในเรื่องการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ

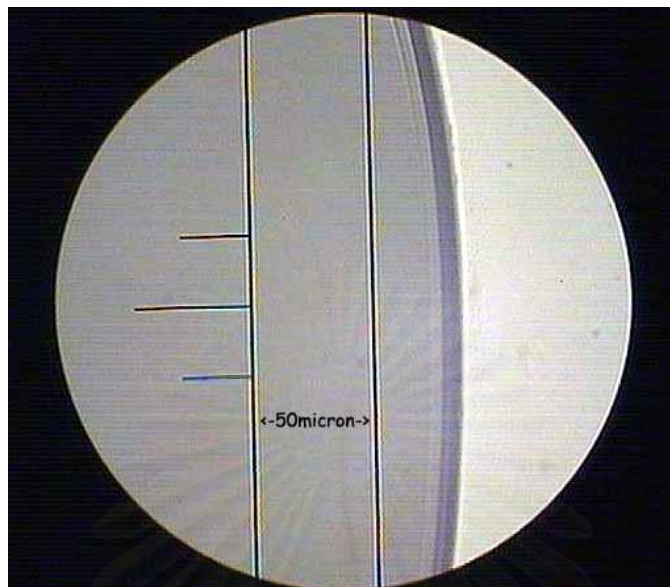
ผลการทดลองพบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใย วัสดุของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความลึกของการแข็งตัว (5.9528 มิลลิเมตร) และค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (7.7669 มิลลิเมตร) ต่ำกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส (5.9538 มิลลิเมตร และ 8.2875 มิลลิเมตร ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยค่าสถิติแบบ อินดิเพนเดนท์ แซมเปิลทีเทส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความลึกของการแข็งตัว (มิลลิเมตร) และความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (ไมโครเมตร) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ (จำนวน 5 ซีนตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์)

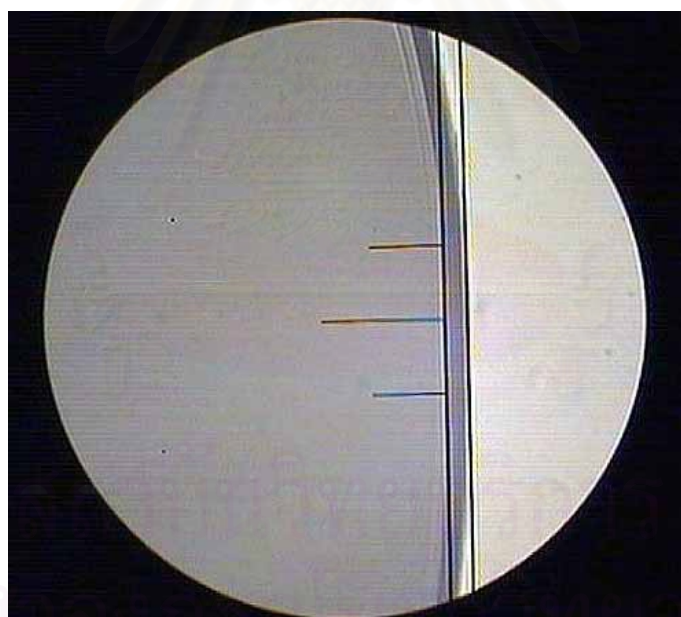
วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	ค่าเฉลี่ยความลึกของการแข็งตัว [ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน] (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นผิวที่ไม่ แข็งตัว [ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน] (ไมโครเมตร)
ฟรีโวแคร์	5.9538 ^a [0.0048]	8.2875 ^a [0.5951]
ฟรีโวแคร์ที่มีโคโคซาน ร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	5.9528 ^a [0.0055]	7.7769 ^a [0.2774]

*อักษรตัวยกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รายละเอียดข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ 34-40

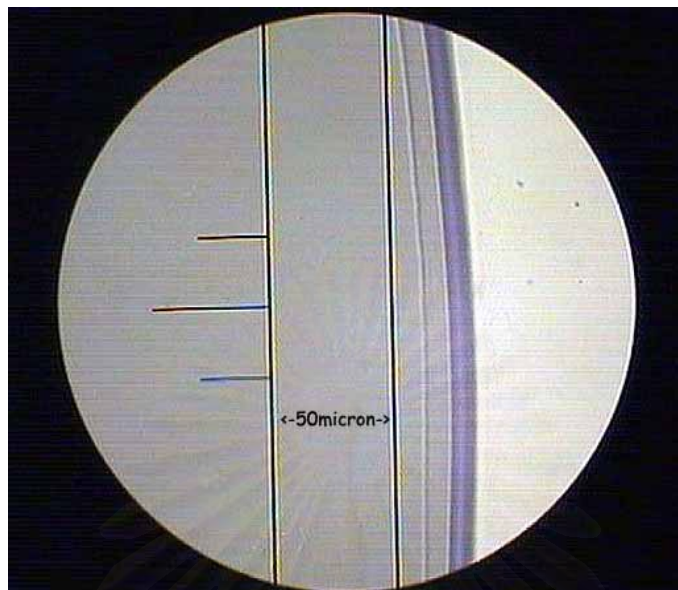


(a)

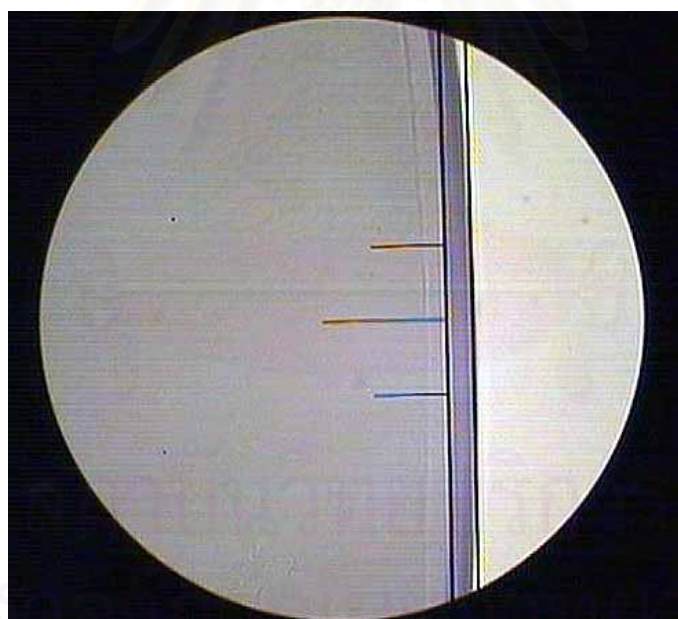


(b)

รูปที่ 26 แสดงการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแคร์ ชนิดใส ที่กำลังขยาย 500เท่า (b)



(a)



(b)

รูปที่ 27 แสดงการวัดความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีไวแคร์ ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 500 เท่า (b)

ส่วนผลการทดสอบเรื่องการดูดซับน้ำและการละลายน้ำพบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแควร์ชนิดใสที่มีสาร ไคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ (51.2504 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และ 14.5515 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ) สูงกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันฟรีไวแควร์ (36.7685 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และ 7.7440 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยค่าสถิติแบบอินดิเพนเดนท์ แซมเปิลทีเทส พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ

(จำนวน 5 ซึ้นตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	ค่าเฉลี่ยการดูดซับน้ำ [ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน] ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	ค่าเฉลี่ยการละลายน้ำ [ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน] ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)
ฟรีไวแควร์	36.7685 ^a [5.8758]	7.7440 ^a [0.6228]
ฟรีไวแควร์ที่มีไคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	51.2504 ^b [0.7062]	14.5515 ^b [3.4748]

*อักษรตัวกที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รายละเอียดข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ 41-44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

ปัจจุบันอุบัติการณ์การเกิดฟันผุของประชากรทั่วโลกลดลงมาก (Kidd และคณะ, 1993) อย่างไรก็ตามการเกิดฟันผุของเด็กและผู้ใหญ่ยังคงพบมากบริเวณด้านบดเคี้ยว มีการศึกษาพบว่า การเคลือบหลุมร่องฟันมีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุนบนด้านบดเคี้ยว โดยมีกลไกหลักคือ ความสามารถในการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกับผิวเคลือบฟัน (Kilpatrick และคณะ, 1996) นอกจากองค์ประกอบพื้นฐานของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจะประกอบด้วยสารเรซินแล้ว ยังมีผู้พยายามเติมส่วนประกอบอื่น ๆ ลงในวัสดุ เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพ เช่น การเติมวัสดุอัดแทรกเพื่อลดการดูดซึมน้ำ และทนต่อการสึกจากแรงบดเคี้ยว (Craig และ Powers, 2002) รวมถึงการเติมสารโซเดียมฟลูออไรด์หรือแก้วฟลูออโรซิลิเกต เพื่อให้วัสดุสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุมากยิ่งขึ้น (Hicks และคณะ, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีฟลูออไรด์ชื่อ Teethmate-F สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดฟันผุได้ (Loyola-Rodriguez และ Garcia-Godoy, 1996) อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันประเภทเรซินยังคงน้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ (Lobo และคณะ, 2005)

สารไคโตซานเป็นสารจากธรรมชาติ มีคุณสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา มีการศึกษาที่พบว่าสารไคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (chitooligosaccharide) ที่มีอนุพันธ์เป็นกลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium group) มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประจุบวกของแอมโมเนียมจะเกิดอินเตอร์แอคชันกับโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลยับยั้งการแลกเปลี่ยนสารอาหารภายในและภายนอกเซลล์ (Kim และคณะ, 2003) บางการศึกษาพบว่าสารไคโตซานความเข้มข้นน้อยกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมที่ผสมลงในสารคลอเฮกซิดีน มีผลลดการยึดเกาะของเชื้อสเตรปโตคอคคัส แชนทีนิส (*Streptococcus sanguinis*) อย่างมีนัยสำคัญ (Decker และคณะ, 2005) นอกจากนี้สารไคโตซานยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติของแคลเซียมฟอสเฟตซีเมนต์ (calcium phosphate cement) ให้มีคุณสมบัติแข็งตัวเร็วขึ้น เพิ่มความแข็งแรงต่อแรงอัด (compressive strength) ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูก (bone substitute material) เพื่อแก้ไขความผิดปกติของอวัยวะปริทันต์ หรือการเสริมสันกระดูกขากรรไกรได้ (Yokoyama และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตามยังไม่มี

การศึกษาได้นำสารโคโตซานใส่ลงในวัสดุบูรณะทางทันตกรรม ซึ่งทางคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเลียมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงมีแนวคิดในการนำสารโคโตซานมาผสมลงในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เพื่อให้มีคุณสมบัติด้าน เชื้อแบคทีเรีย และสารโคโตซานยังทำหน้าที่เสมือนวัสดุอุดแทรกอีกด้วย โดยจากการศึกษานี้พบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโตซาน มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย และสารโคโตซานมีผลเพิ่มค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันได้เล็กน้อย

ความแข็งเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก เป็น เครื่องบ่งชี้ถึงความต้านทานต่อการขีดขูดของวัสดุ การทดสอบความแข็งของวัสดุบูรณะทาง ทันตกรรมโดยส่วนใหญ่ นิยมใช้การทดสอบความแข็งโดยการกดแบบนูนและวิกเกอร์ส (Ulvestad, 1977; Willems และคณะ, 1993; Ersoy และคณะ, 2004) ซึ่งมีการเตรียมชิ้นทดสอบ และวิธีการทดสอบที่ง่าย (Manhart และคณะ, 2000) ในการศึกษาี้เลือกใช้การทดสอบความแข็ง ในระดับนาโน ซึ่งมีเครื่องมือเคปเซนชิงอินเดนเตชัน สามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงความลึก ในขณะที่โหลดและอันโหลดได้ โดยเครื่องจะเป็นตัววัดพื้นที่ที่เกิดขึ้นจากการกด โดยคำนวณจาก ความลึก เพื่อให้ได้มาซึ่งพื้นที่และเป็นพื้นที่จากการกดจริง ในขณะที่ค่าความแข็งในระดับไมโคร คำนวณจากแรงที่ใช้กดเปรียบเทียบกับพื้นที่ของรอยกดที่ใช้การวัดทางสายตา ทำให้มีความคลาดเคลื่อนจากตัวผู้วัดได้ซึ่งยากแก่การควบคุม และค่าความแข็งที่คำนวณจะมีค่ามากกว่าความเป็นจริง เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้คำนวณ ได้จากการวัดหลังจากวัสดุมีการคืนตัวเล็กน้อยแล้ว (Willems และคณะ, 1993) โดยเฉพาะวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อหัวกดกดลงในเนื้อวัสดุ วัสดุจะมีการคืนตัวสูงหลังจากหยุดให้แรงกด จากเหตุผลดังกล่าวเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน สามารถคำนวณความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นได้จากกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และแม่นยำกว่า (Oliver และ Pharr, 1992) อย่างไรก็ตามการทดสอบความแข็ง ในระดับนาโน ยังมีข้อด้อยในเรื่องของการเตรียมชิ้นงาน และสิ่งแวดล้อมในการวัด ดังนั้นการ เตรียมชิ้นทดสอบให้เรียบและขนาน การควบคุมอุณหภูมิและการสัมผัสเทียน จึงเป็นขั้นตอนที่ สำคัญที่ต้องควบคุมอย่างระมัดระวังสำหรับการทดสอบนี้ (Suansuwan และ Swain, 2001)

จากการศึกษานำร่อง (pilot study) ได้เลือกใช้แรงกด 25 มิลลินิวตัน ทำการแยก กดลงบนเรซินเมทริกซ์ และเรซินเมทริกซ์ที่พบสารโคโตซานเกาะกลุ่มอยู่ พบว่าไม่มีความแตกต่าง กันของค่าความแข็งของเรซินเมทริกซ์และสารโคโตซาน (0.2071 และ 0.2080 จิกะปาสกาล ตามลำดับ) ดังนั้นจึงพิจารณาใช้แรงกดที่มาก เพื่อให้ครอบคลุมทั้งเรซินเมทริกซ์และสารโคโตซาน โดยการศึกษาี้เลือกใช้แรงกด 500 มิลลินิวตัน ซึ่งเป็นแรงสูงสุดที่เครื่องทดสอบสามารถกดได้

เพื่อให้ได้ค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันโดยรวม ซึ่งพื้นที่ที่เกิดขึ้นจากการกดจะครอบคลุมทั้งเรซินเมทริกซ์และสารโคโตซาน อย่างไรก็ตามบางการศึกษาได้ใช้แรงกดเพียง 0.2 มิลลินิวตันในการศึกษาค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นบริเวณพื้นที่ยึดติดของเรซินกับเนื้อฟัน (resin-dentin bonding area) (Van Meerbeek และคณะ, 1993) รวมถึงวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต (Willems และคณะ, 1993) และบางการศึกษาใช้แรงกด 10 มิลลินิวตัน เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของเนื้อฟันนี้กับค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่น (Angker และคณะ, 2004) และใช้แรงกด 50 มิลลินิวตันในการทดสอบโลหะอัลลอย (metal alloy) และพอร์ซเลนทางทันตกรรม (dental porcelain) (Suansuwan และ Swain, 2001) จะเห็นได้ว่าการเลือกขนาดของแรงกดที่เหมาะสมในแต่ละการศึกษา ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ทำการทดสอบ และการทดสอบความแข็งในระดับนาโนเหมาะสมสำหรับทดสอบวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) มากกว่าทดสอบวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) เนื่องจากลักษณะพื้นที่สัมผัสของหัวกดมีขนาดเล็ก ถ้ากดลงบนวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หัวกดจะกดลงบนวัสดุต่างชนิดกัน ส่งผลให้ได้ข้อมูลที่มีการกระจายสูง (Suansuwan และ Swain, 2001) อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ พบข้อมูลความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทดสอบ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำมาก ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันและสารโคโตซาน มีคุณสมบัติด้านความแข็งที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้เครื่องวัดความแข็งในระดับนาโนไม่สามารถตรวจพบการกระจายได้

จากการศึกษานี้พบว่า เส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานมีผลเพิ่มค่าความแข็งให้กับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยสารโคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนักให้ค่าความแข็งสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซาน วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันจะมีค่าความแข็งลดลง ดังนั้นควรที่จะมีการศึกษาต่อในเรื่องปริมาณเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานที่เหมาะสม ที่ทำให้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีความแข็งสูงสุด ซึ่งได้รับการยืนยันในลักษณะเดียวกันในการศึกษาที่พบว่าปริมาณสารโคตินวิสเกอร์ร้อยละ 2.96 โดยน้ำหนักให้ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิต (nanocomposite film) สูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารโคตินวิสเกอร์จะมีผลลดความแข็งแรงต่อแรงดึง เนื่องจากปริมาณของวิสเกอร์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งเกร็ง (rigid) มากขึ้น ลดความสามารถในการยืด (elongation) ของวัสดุได้ (Sriupayo และคณะ, 2005) และสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า ปริมาณของสารโคตินวิสเกอร์มีผลเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) แต่เมื่อปริมาณวิสเกอร์มากกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะลดความแข็งแรงต่อแรงดึงได้ (Lu และคณะ, 2004)

ในการศึกษานี้เมื่อพิจารณาภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (รูปที่ 19-23) ของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีส่วนผสมของสารโคโตซานใน ปริมาณต่าง ๆ กัน พบว่ามีการเกาะกลุ่มกันของสารโคโตซาน ในวัสดุที่มีความเข้มข้นของสาร โคโตซานสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของสารโคโตซานมีประจุ ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันและ มีการกระจายตัวที่ไม่ดี และสารโคโตซานยังส่งผลให้พื้นผิวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีความ ขรุขระ ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนดิงที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้จากการศึกษาถึงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ ของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันที่มีสารโคโตซานในปริมาณต่าง ๆ กัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 24-25 พบว่าอินฮิบิทอรี เฮโลของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนักมีขนาดเล็ก ที่สุด นั่นคือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อโรคน้อยที่สุด ในขณะที่อินฮิบิทอรี เฮโลของสาร โคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่มีขนาด ใหญ่กว่าอินฮิบิทอรี เฮโลของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนักอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทดสอบนี้ไม่ได้ผ่านกระบวนการขัด เพื่อให้สารโคโตซาน สามารถสัมผัสกับเชื้อโรคเพิ่มขึ้น ซึ่งการศึกษาในอนาคตน่าจะมีการทดสอบถึงผลของการขัดและ ไม่ขัดขึ้นทดสอบต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อโรคของสารโคโตซานด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึง ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อสเตรปโตคอคคัส มิวแทนส์ของสารโคโตซาน ร่วมกับข้อดีของ สารโคโตซานที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ จึงเลือกวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีส่วนผสมของ สารโคโตซานในปริมาณน้อยที่สุด แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและค่าความ แข็งไม่ได้ลดลงหลังจากการใส่สารโคโตซาน ซึ่งก็คือ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีสารโคโตซานใน ปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก

ความลึกของการแข็งตัว เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความแข็งของวัสดุบูรณะ โดยอ้อม พบว่าหลังจากฉายแสงที่พื้นผิวด้านบนของวัสดุบูรณะ ความแข็งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก ตำแหน่งพื้นผิวไปจนถึงส่วนล่างสุดของวัสดุ (Hansen และ Asmussen, 1997) ความลึกของการ แข็งตัวตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ที่กำหนดไว้ จะต้องไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร จาก การศึกษานี้พบว่าทั้งวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อฟรีโวแคร์ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีค่า ความลึกของการแข็งตัว (5.9538 ± 0.0048 และ 5.9528 ± 0.0055 มิลลิเมตร ตามลำดับ) ผ่าน เกณฑ์ที่กำหนด โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความลึกของการแข็งตัวได้แก่ ส่วนประกอบ ความทึบแสง และสีของวัสดุบูรณะ ชนิดและปริมาณของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา ชนิดของแสง ความยาวคลื่นและ ความเข้มแสง รวมถึงระยะเวลาในการฉายแสงด้วย (Fan และคณะ, 2002) วัสดุเรซินคอมโพสิต

สีเข้ม (darker shade) มีค่าความลึกของการแข็งตัวน้อยกว่าวัสดุสีอ่อน (lighter shade) (Swartz และคณะ, 1983) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่พบว่าความใส (translucency) ของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต ส่งผลต่อความลึกของการแข็งตัวมากกว่าสีของวัสดุบูรณะ (Ferracane และคณะ, 1986) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดขุ่น มีค่าความลึกของการแข็งตัวสูงกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อคอนไซส์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากฟริโวแคร์ชนิดขุ่นมีความทึบแสงน้อยกว่า ยอมให้แสงส่องผ่านได้ลึกกว่าคอนไซส์ (สุจิต พูลทอง และคณะ, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใส พบว่าฟริโวแคร์ชนิดขุ่นมีค่าความลึกของการแข็งตัว (4.29 ± 0.07 มิลลิเมตร) ต่ำกว่าเช่นกัน (สุจิต พูลทอง และคณะ, 2547) ดังนั้นการที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไลโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ยังคงสภาพความใสอยู่ ส่งผลให้เมื่อฉายแสง แสงสามารถส่องผ่านได้ดี ทำให้มีค่าความลึกของการแข็งตัวไม่แตกต่างกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใส

ความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวตามมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 ที่กำหนดไว้มีค่าไม่เกิน 100 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่า วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไลโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (8.2875 ± 0.5951 และ 7.7769 ± 0.2774 ไมโครเมตร ตามลำดับ) ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟริโวแคร์ชนิดขุ่นและคอนไซส์ (9.53 ± 1.83 และ 13.80 ± 4.07 ไมโครเมตร) มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์เช่นกัน (สุจิต พูลทอง และคณะ, 2547) และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลดังที่กล่าวข้างต้นพบว่า ชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไลโตซานมีความหนาน้อยสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัสดุบูรณะที่มีวัสดุอัดแทรกเป็นส่วนประกอบ วัสดุอัดแทรกจะขัดขวางการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ (Odrobina และคณะ, 2001) และปริมาณวัสดุอัดแทรกที่มากจะทำให้วัสดุบูรณะมีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้การแพร่ผ่านของออกซิเจนน้อยลงเช่นกัน (LU และคณะ, 2001) นอกจากความหนืดจะมีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวหรือชั้นที่ถูกยับยั้งด้วยออกซิเจน (oxygen-inhibited layer) แล้ว ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ก็ยังมีผลด้วย โดยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่กระตุ้นปฏิกิริยาด้วยพลังงานแสง จะมีความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวน้อยกว่าวัสดุที่กระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี (Ruyter, 1981) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่พบว่า ชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวไม่มีความจำเป็นต่อการยึดติดกับวัสดุเรซินคอมโพสิต ทั้งนี้อาจเกิดจากการพัฒนาของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาในปัจจุบัน ส่งผลให้

ชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวมีความหนาที่น้อยมากทำให้เกิดการสัมผัสกันอย่างสมบูรณ์ของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวกับวัสดุเรซินคอมโพสิตใหม่ (fresh resin composite) (Suh, 2004) อย่างไรก็ตามชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัวเป็นชั้นที่มีมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่ซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ จึงสมควรกำจัดออก มีการศึกษาที่พบว่า การขัดด้วยผงขัดพัมมิส สามารถกำจัดชั้นเรซินที่ไม่แข็งตัวได้ถึงร้อยละ 95 และการใช้สำลีแห้งหรือชุปน้ำสามารถกำจัดชั้นนี้ได้ถึงร้อยละ 86 อย่างไรก็ตามการใช้สำลีสามารถกำจัดชั้นนี้ได้เพียงส่วนพื้นผิวเท่านั้น (Rueggerberg และ Dlugokinski, 1999)

จากการศึกษานี้ได้ทดสอบเรื่องความลึกของการแข็งตัวและความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีการกำหนดองค์การมาตรฐานไอเอสโอ 6874:2005 ซึ่งมีความแตกต่างในรายละเอียดของการทดสอบเรื่องความลึกของการแข็งตัว นั่นคือในขั้นตอนการกำจัดวัสดุที่ไม่แข็งตัว มีการใช้ใบพายพลาสติก (plastic spatula) แทนการใช้กระดาษทิชชู รวมถึงกำหนดจำนวนชั้นทดสอบเพียง 3 ชั้น และไม่มี การทดสอบความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว (ISO 6874:2005)

การดูดซับน้ำและการละลายน้ำส่งผลต่อสมบัติของวัสดุบูรณะ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสี และความต้านทานการสึกกร่อน (Musanje และคณะ, 2001) การดูดซับน้ำและการละลายน้ำตามมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ที่กำหนดไว้ ต้องมีค่าน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และน้อยกว่า 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรตามลำดับ ในการศึกษา พบว่าการดูดซับน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสมีค่า 36.7685 ± 5.8758 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส มีค่าการละลายน้ำ 7.7440 ± 0.6228 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเล็กน้อย และจากการศึกษาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดขุ่น พบว่ามีค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ (48.13 ± 2.74 และ 5.24 ± 1.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ) ผ่านมาตรฐานไอเอสโอ (สุขจิต พูลทอง และคณะ, 2547) ดังนั้นการที่ฟรีโวแคร์ชนิดใสมีค่าการละลายน้ำที่สูงกว่าเกณฑ์ จึงเห็นสมควรที่จะต้องมีการพัฒนาสูตรให้มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง ส่วนการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารโคโคซานประกอบด้วยหมู่อะมิโนจำนวนมากบนสายพอลิเมอร์ที่สามารถจับกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของน้ำได้ ส่งผลให้มีการดูดซับน้ำได้มาก (Mucha และคณะ, 2005) อย่างไรก็ตามสารโคโคซานไม่สามารถละลายได้ในน้ำ (Sriupayo และคณะ, 2005) ดังนั้นการที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซาน มีการ

ละลายน้ำสูง น่าจะเป็นเหตุผลจากการที่สารโคโตซานที่มีประจุบวก แขนงลอยอยู่บนเรซินเมทริกซ์ โดยไม่มีสารซิลเลน (silane) ทำให้เมื่อวัสดุมีการสัมผัสกับน้ำ โมเลกุลของน้ำจะแทรกซึมเข้าไปที่รอยต่อของสารโคโตซานกับเรซินเมทริกซ์ ส่งผลให้มีการละลายของเรซินได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัสดุบูรณะที่มีสารบิส-จีเอ็มเอเป็นองค์ประกอบ (Bagis และ Rueggeberg, 1997) นอกจากนี้ อัตราคิรีออฟคอนเวอร์ชันยังมีผลต่อการดูดซับน้ำและละลายน้ำของวัสดุด้วย โดยวัสดุเรซินที่กระตุ้นปฏิกิริยาคัวยพลังงานแสงแข็งตัว จะมีกลุ่มของเมทาคริเลทที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเหลืออยู่ร้อยละ 30-60 ภายในเนื้อพอลิเมอร์ (Matsumura และคณะ, 1997) การมีมอนอเมอร์หลงเหลืออยู่ นี้ ส่งผลให้วัสดุมีการดูดซับน้ำและการละลายเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการทดสอบตามมาตรฐานไอเอสโอ ไม่ได้เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปาก โดยเปรียบเทียบกับการนำวัสดุบูรณะแช่ในน้ำทันทีหลังจากเตรียมเสร็จ พบว่ากระบวนการทำให้แห้ง (desiccation cycle) ตามวิธีมาตรฐานไอเอสโอ จะทำให้วัสดุบูรณะสูญเสียองค์ประกอบบางอย่างไป ส่งผลให้มีการเชื่อมต่อกับโมเลกุลน้ำได้ง่ายขึ้น (Mortier และคณะ, 2005) ซึ่งวัสดุบูรณะที่มีองค์ประกอบเป็นสารบิส-จีเอ็มเอ/ทีอีจีดีเอ็มเอ จะสูญเสียองค์ประกอบได้ง่ายกว่าวัสดุบูรณะที่มีสารยูดีเอ็มเอ/ทีอีจีดีเอ็มเอ (Bagis และ Rueggeberg, 1997) ในเรื่องการละลายน้ำพบว่าวัสดุบูรณะมีการละลายน้ำสูงกว่าวัสดุที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งตามมาตรฐานไอเอสโอ (Mortier และคณะ, 2005) โดยวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นโครงสร้างตาข่ายอินออร์แกนิก ซิลลอกเซน (inorganic siloxane network) และวัสดุที่มีเซอร์โคเนียซิลิกาเป็นวัสดุอัดแทรก จะมีการละลายน้ำน้อยกว่าวัสดุบูรณะที่มีแก้วแบเรียม อลูมิโนซิลิเกต และแก้วสตรอนเตียมฟลูออไรด์เป็นวัสดุอัดแทรก (Mohsen และ Craig, 1995) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุบูรณะ ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินเมทริกซ์ ชนิดของวัสดุอัดแทรก ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ และการเชื่อมต่อกันของวัสดุอัดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ (Mortier และคณะ, 2005) รวมถึงค่าความเป็นกรดต่าง และระยะเวลาในการแช่ตัวของวัสดุบูรณะด้วย (Ortengren และคณะ, 2001)

สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณของสารโคโคซานร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส อย่างไรก็ตามสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก มีผลเพิ่มค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3, 5, และ 6.5 โดยน้ำหนักไม่มีความแตกต่างกัน
2. การเติมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโคซานลงในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น
3. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส และวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 6874:1988 อย่างไรก็ตามวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000 ในเรื่องการดูดซับน้ำ แต่ไม่ผ่านมาตรฐานในเรื่องการละลายน้ำ ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใสที่มีสารโคโคซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติไม่ผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาสูตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแควร์ชนิดใส ให้มีคุณสมบัติในเรื่องการละลายน้ำผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000
2. การพัฒนาสูตรของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแควร์ชนิดใสที่มีส่วนผสมของสารโคโตซาน ให้ผ่านมาตรฐานไอเอสโอ 4049:2000
3. เนื่องจากมีการเกาะกลุ่มกันของสารโคโตซานในเรซินเมทริกซ์ จึงควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาสารไซเลนขึ้นมา เพื่อให้สารโคโตซานมีการกระจายตัวและเกิดการเชื่อมต่อที่ดีกับเรซินเมทริกซ์
4. การศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติการด้านเชื้อแบคทีเรีย และความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxic) ของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีส่วนผสมของสารโคโตซาน
5. การศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ ในเรื่องของความแข็งแรงดัดขวาง ความต้านทานการสึก และประสิทธิภาพในการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มีส่วนผสมของสารโคโตซานกับผิวเคลือบฟัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2545. รายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2543-2544. กรุงเทพมหานคร : สามเจริญพาณิชย์ (กรุงเทพ),
ดารณี ตันตไพโรจน์. 2545. วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน: ศักยภาพที่ถูกมองข้าม. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 45: 155-158.
- สุจิต พูลทอง, อนุชาติ ศรีจันบาล, มารศรี อูชชิน, ประสิทธิ์ ภูวสันต์, สุภาภรณ์ จงวิศาล, ดารณี ตันตไพโรจน์. 2547. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 1: การทดสอบสมบัติทางกายภาพ. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 54: 141-147.
- สุภาภรณ์ จงวิศาล, มนต์ชัย ซาลาประวรรณ, วรพรรณ พึ่งรักษาเกียรติ, สุจิต พูลทอง, ดารณี ตันตไพโรจน์. 2547. การพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันสำหรับใช้ในประเทศ 4: การศึกษาทางคลินิกเมื่อติดตามผล 6 เดือน. วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์ 54: 224-233.

ภาษาอังกฤษ

- Angker L, Nockolds C, Swain MV, Kilpatrick N (2004). Correlating the mechanical properties to the mineral content of carious dentine –a comparative study using an ultra –micro indentation system (UMIS) and SEM-BSE signals. Arch Oral Biol 49: 369-378.
- Anusavice JK (2003). Phillips' Science of Dental Materials. 11th edn. W.B. Saunders, St. Louis, Missouri: pp.73-101.
- American Dental Association Council on Scientific Affairs (1997). Dental sealants. J Am Dent Assoc 128: 485-488.
- Asmussen E, Peutzfeldt A (1998). Influence of UEDMA, Bis-GMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. Dent Mater 14: 51-56.

- Bagis YH, Rueggeberg FA (1997). Mass loss in urethane/TEGDMA- and bis-GMA/TEGDMA-based resin composites during post-cure heating. Dent Mater 13: 377-380.
- Bell TJ, Bendeli A, Field JS, Swain MV, Thwaite EG (1991/1992). The determination of surface plastic and elastic properties by Ultra Micro-indentation. Metrologica 28: 463-469.
- Bodecker CF (1929). The eradication of enamel fissures. Dent Item Int 51: 859.
- Bowen RL (1963). Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. J Am Dent Assoc 66: 57-64.
- Boyer HE (1987). Hardness Testing. Metal Parks: ASM International.
- Buonocore MG (1970). Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention with use of ultraviolet light. J Am Dent Assoc 80: 324-328.
- Choi BK, Kim KY, Yoo YJ, Oh SJ, Choi JH, Kim CY (2001). In vitro antimicrobial activity of a chitooligosaccharide mixture against *Actinobacillus actinomycetemcomitans* and *Streptococcus mutans*. Int J Antimicrob Agents 18: 553-557.
- Craig RG (1989). Mechanical Properties in Restorative Dental Materials. Mosby Inc, St. Louis, Missouri: pp.
- Craig RG, Powers JM (2002). Restorative Dental Materials. 11th edn, Mosby Inc, St. Louis, Missouri: pp.90-91.
- Cueto EL, Buonocore MG (1967). Sealing of pits and fissures with an adhesive resin and caries prevention. J Am Dent Assoc 75: 121-128.
- Decker EM, von Ohle C, Weiger R, Wiech I, Brex M (2005) A synergistic chlorhexidine/ chitosan combination for improved antiplaque strategies. J Periodont Res 40: 373-377.
- Doerner MF, Nix WD (1986). A method for interpreting the data from depth-sensing indentation instruments. J Mater Res 1: 601-609.
- Ersoy M, Civelek A, L'hotelier E, Say EC, Soyman M (2004). Physical properties of different composites. Dent Mater J 23: 278-283.

- Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC (2002). Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. J Am Dent Assoc 133: 429-434.
- Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Marker VA (1986). Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. Dent Mater 2: 80-84.
- Ferracane JL (2001). Materials in Dentistry: Principles and Applications. 2nd edn. Lippincott William & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania: pp.41-58.
- Fischer-Cripps AC (2004). IBIS-UMIS Operations Manual. Fischer-Cripps Laboratories Pty Limited. Sydney, Australia.
- Fischer-Cripps AC (2005). The IBIS Handbook of Nanoindentation. Fischer-Cripps Laboratories PTY Limited. Sydney, Australia.
- Hansen EK, Asmussen E (1997). Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. Acta Odontol Scand 55: 162-166.
- Hicks MJ, Flaitz CM, Garcia-Godoy F (2000). Fluoride-releasing sealant and caries-like enamel lesion formation in vitro. J Clin Pediatr Dent 24: 215-219.
- Ikinci G, Senel S, Akincibay H, Kas S, Ercis S, Wilson CG, Hincal AA (2002). Effect of chitosan on a periodontal pathogen *Porphyromons gingivalis*. Int J Phar 235: 121-127.
- Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi YA, Silikas N, Watts DC (2003) In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. Dent Mater 19: 393-398.
- Khor E, Lim LY (2003). Implantable applications of chitin and chitosan. Biomaterials 24: 2339-2349.
- Kidd EAM, Ricketts DNJ, Pitts NB (1993). Occlusal caries diagnosis: a changing challenge for clinicians and epidemiologists. J Dent 21: 323-331.
- Kilpatrick NM, Murray JJ, McCabe JF (1996). A clinical comparison of a light cured glass ionomer sealant restoration with a composite sealant restoration. J Dent 24: 399-405.

- Kim JY, Lee JK, Lee TS, Park WH (2003). Synthesis of chitooligosaccharide derivative with quaternary ammonium group and its antimicrobial activity against *Streptococcus mutans*. Int J Biol Macromol 32: 23-27.
- Krajewska B (2005). Membrane-based processes performed with use of chitin/chitosan materials. Sep Purif Tech 41: 305-312.
- Kumar MNVR (2000). A review of chitin and chitosan application. Reactive Funct Polym 46: 1-27.
- Lobo MM, Pecharki GD, Tengan C, da Silva DD, Da Silva Tagliaferro EP, Napimoga MH (2005). Fluoride-releasing capacity and cariostatic effect provided by sealants. J Oral Sci 47: 35-41.
- Loyola-Rodriguez JP, Garcia-Godoy F (1996). Antibacterial activity of fluorid release sealants on mutans streptococci. J Clin Pediatr Dent 20: 109-111.
- Lu X, Manners I, Winnik MA (2001). Polymer/silica composite films as luminescent oxygen sensors. Macromolecules 34: 1917-1927.
- Lu Y, Weng L, Zhang L (2004). Morphology and properties of soy protein isolate thermoplastics reinforced with chitin whiskers. Biomacromolecules 5: 1046-1051.
- Manhart J, Kunzelman KH, Chen H, Hickel R (2000). Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. J Biomed Mater Res 53: 353-361.
- Manji F, Fejerskov O, Nagelkerke NJD, Baelum V (1991). A random effect model for some epidemiological features of dental caries. Community Dent Oral Epidemiol 19: 324-328.
- Matsumura H, Tanoue N, Atsuta M, Kitazawa S (1997). A Metal Halide light source for laboratory curing of prosthetic composite materials. J Dent Res 76: 688-693.
- Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SAV (1996). Measurement of the microhardness and young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. Arch Oral Biol 6: 539-545.
- Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH (1999). Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. Br Dent J 186: 388-390.

- Mitchell L, Gordon PH (1990). Fissure sealants-recent developments. Dent Update 17: 299-302.
- Mitra SB, WU D, Holmes BN (2003). An application of nanotechnology in advanced dental materials. J Am Dent Assoc 134: 1382-1390.
- Mohsen NM, Craig RG, Hanks CT (1998). Cyto-toxicity of urethane dimethacrylate composites before and after aging and leaching. J Biomed Mater Res 39, 252-260.
- Mohsen NM, Craig RG (1995). Hydrolytic stability of silanated zirconia-silica-urethane dimethacrylate composite. J Oral Rehabil 22: 213-220.
- Mortier E, Gerdolle DA, Jacquot B, Panighi M (2004). Importance of water sorption and solubility studies for coupling bonding agent – resin-based filling material. Oper Dent 29: 669-676.
- Mortier E, Gerdolle DA, Dahoun A, Panighi M (2005). Influence of initial water content on the subsequent water sorption and solubility behavior in restorative polymers. Am J Dent 18: 177-181.
- Mucha M, Ludwiczak S, Kawinska M (2005). Kinetics of water sorption by chitosan and its blends with poly(vinyl alcohol). Carbohydrate Polym 62: 42-49.
- Musanje L, Shu M, Darvell BW (2001). Water sorption and mechanical behavior of cosmetic direct restorative materials in artificial saliva. Dent Mater 17: 394-401.
- Muzzarelli R, Biagini G, Pugnaroni A, Filippini O, Baldassarre V, Castaldini C, Rizzoli C (1989). Reconstruction of parodontal tissue with chitosan. Biomaterials 10: 598-603.
- Muzzarelli R, Tarsi R, Filippini O, Giovanetti E, Biagini G, Varaldo PE (1990). Antimicrobial properties of N-Carboxybutyl chitosan. Antimicrob Agents Chemother 34: 2019-2023.
- Oliver WC, Pharr GM (1992). An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. J Mater Res 7: 1564-1574.

- Odrobina E, Feng J, Pham HH, Winnik MA (2001). Effect of soft filler particles on polymer diffusion in poly(butyl methacrylate) latex films. Macromolecules 34: 6039-6051.
- Ortengren U, Andersson F, Elgh U, Terselius B, Karlsson S (2001). Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behavior of three composite resin materials. J Dent 29: 35-41.
- Oysead H, Ruyter IE (1986). Water sorption and filler characteristics of composites for use in posterior teeth. J Dent Res 65: 1315-1318.
- Palin WM, Fleming GJP, Trevor Burke FJ, Marquis PM, Randall RC (2003). Monomer conversion versus flexural strength of a novel dental composite. J Dent 31: 341-351.
- Park YJ, Lee YM, Park SN, Sheen SY, Chung PY, Lee SJ (2000). Platelet derived growth factor releasing chitosan sponge for periodontal bone regeneration. Biomaterials 21: 153-159.
- Philip DM (1999). Microbiologic aspects of dental plaque and dental caries. Dent Clin North Am 43: 599-614.
- Ripa LW (1993). Sealants revisited an update of the effectiveness of pit and fissure sealants. Caries Res 27: 77-82.
- Rock WP, Potts AJ, Marchment MD, Clayton-Smith AJ, Galuszka MA (1989). The visibility of clear and opaque fissure sealants. Br Dent J 167: 395-396.
- Rock WP, Weatherill S, Anderson RJ (1990). Retention of three fissure sealant resins. The effects of etching agent and curing method. Results over 3 years. Br Dent J 168: 323-325.
- Rueggerberg FA, Margeson DH (1990). The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. J Dent Res 69, 1652-1658.
- Rueggerberg FA, Dlugokinski M (1999). Minimizing patients' exposure to incurred components in a dental sealant. J Am Dent Assoc 130, 1751-1757.
- Rugg-Gunn AJ (1997). Dental Caries. In: Welbury RR, editor. Paediatric dentistry. Oxford: Oxford University Press.

- Ruyter IE (1981). Unpolymerized surface layers on sealants. Acta Odontol Scand 39: 27-32.
- Ruyter IE, Oysaed H (1982). Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. Acta Odontol Scand 40: 179-192.
- Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW (1961). Micro-indentation hardness. J Dent Res 40: 1116-1126.
- Senel S, Ikinici G, Kas S, Yousefi-Rad A, Sargon MF, Hincal AA (2000). Chitosan films and hydrogels of chlorhexidine gluconate for oral mucosa delivery. Int J Phar 193: 197-203.
- Simonsen RJ (1991). Retention and effectiveness of dental sealant after 15 years. J Am Dent Assoc 122: 34-42.
- Sriupayo J, Supaphol P, Blackwell J, Rujiravanit R (2005). Preparation and characterization of α -chitin whisker-reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposite films with or without heat treatment. Polymer 46: 5637-5644.
- Suansuwan N, Swain MV (2001). Determination of elastic properties of metal alloys and dental porcelains. J Oral Rehabil 28: 133-139.
- Suh BI (2004). Oxygen-inhibited layer in adhesive dentistry. J Esthet Restor Dent 16, 316-323.
- Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B (1983). Visible light-activated resins: Depth of cure. J Am Dent Assoc 106: 634-637.
- Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M (1998). Curing depth of a composite veneering material polymerized with seven different laboratory photo-curing units. J Oral Rehabil 25: 199-203.
- Tarle Z, Meniga A, Ristic M, Sutalo J, Pichler G (1995). Polymerization of composites using pulsed laser. Eur J Oral Sci 103: 394-398.
- Tarsi R, Muzzarelli R, Guzman CA, Pruzzo C (1997). Inhibition of Streptococcus mutans adsorption to hydroxyapatite by low-molecular-weight chitosans. J Dent Res 76: 665-672.
- Tilliss TS, Stach DJ, Hatch RA, Cross-Poline GN (1992). Occlusal discrepancies after sealant therapy. J Prosthet Dent 68: 223-228.

- Tinanoff N (1988). Dental caries: etiology, pathogenesis, clinical manifestations, and management. In S.H.Y. Wei (edn), Pediatric dentistry: total patient care. Philadelphia: Lea&Febriger.
- The International Organization for Standardization. (1988). Dental Resin-based pit and fissure sealants. ISO 6874.
- The International Organization for Standardization. (2005). Dentistry -Polymer-based pit and fissure sealants. ISO 6874.
- The International Organization for Standardization. (2000). Dentistry -Polymer-based filling, restorative and luting materials. ISO 4049.
- The National Institutes of Health. (1984). Consensus development: conference statement on dental sealants in the preventive tooth decay. J Am Dent Assoc 108: 233-236.
- Toparli M, Koksall NS (2005). Hardness and yield strength of dentin from simulated nano-indentation tests. Comput Methods Programs Biomed 77: 253-257.
- Ulvestad H (1977). Hardness testing of some fissure-sealing materials. Scand J Dent Res 85: 557-560.
- Van Meerbeek B, Willems G, Celis JP, Roos JR, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1993). Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area. J Dent Res 72: 1434-1442.
- Willems G, Celis JP, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G (1993). Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. J Biomed Mater Res 27: 747-755.
- Williams B, von Fraunhofer JA, Winter, GB (1975). A comparative evaluation of the microhardness, water solubility and water absorption of fissure sealants. J Dent 3: 1-8.
- Xu HHK, Quinn JB, Smith DT, Giuseppetti AA, Eichmiller FC (2003). Effects of different whiskers on the reinforcement of dental resin composites. Dent Mater 19: 359-367.

Yokoyama A, Yamamoto S, Kawasaki T, Kohgo T, Nakasu M (2002). Development of calcium phosphate cement using chitosan and citric acid for bone substitute materials. Biomaterials 23: 1091-1010.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันผลิตภัณฑ์ยี่ห้อฟรีโวแคร์ชนิดใส

ขึ้นตัวอย่างที่ 1

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อฟรีโวแคร์ (ขึ้นตัวอย่างที่ 1)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดุลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.46064676	0.196764293	3.24093119
รอยกคที่ 2	12.25472303	0.204657264	3.30762043
รอยกคที่ 3	12.31630270	0.202854622	3.26649116
รอยกคที่ 4	12.32232717	0.201849261	3.29046782
รอยกคที่ 5	12.25823269	0.205270900	3.28113262
รอยกคที่ 6	12.24726885	0.206014309	3.27479626
รอยกคที่ 7	12.18267437	0.208610427	3.29594643
รอยกคที่ 8	12.25747567	0.206418024	3.24495926
รอยกคที่ 9	12.10167609	0.211866733	3.32601953
รอยกคที่ 10	12.15317373	0.209371834	3.32059069
รอยกคที่ 11	12.18523490	0.207849038	3.31664359
รอยกคที่ 12	12.19152336	0.208348903	3.28939173
รอยกคที่ 13	12.10845379	0.212870662	3.28269014
รอยกคที่ 14	12.12614590	0.210798229	3.31916171
รอยกคที่ 15	12.12728399	0.210073777	3.34096028
รอยกคที่ 16	12.09776374	0.211044898	3.35925865
รอยกคที่ 17	12.02606447	0.215295211	3.34393024
รอยกคที่ 18	12.05395166	0.214055220	3.33643149
รอยกคที่ 19	12.10789501	0.211702870	3.32059024
รอยกคที่ 20	11.99111119	0.217313559	3.34012366

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันผลิตภัณฑ์ยี่ห้อปริโวแคร์ชนิดใส

ชั้นตัวอย่างที่ 2

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อปริโวแคร์ (ชั้นตัวอย่างที่ 2)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยึดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.37057	0.201073	3.238352
รอยกคที่ 2	12.18260	0.207547	3.331180
รอยกคที่ 3	12.12000	0.210875	3.326187
รอยกคที่ 4	12.12694	0.211170	3.305991
รอยกคที่ 5	11.98286	0.216441	3.380987
รอยกคที่ 6	12.06453	0.212066	3.382004
รอยกคที่ 7	12.00737	0.215249	3.376715
รอยกคที่ 8	11.99961	0.215312	3.388230
รอยกคที่ 9	12.06515	0.213083	3.347947
รอยกคที่ 10	12.14425	0.210319	3.304417
รอยกคที่ 11	12.18676	0.208456	3.294085
รอยกคที่ 12	12.12015	0.211114	3.319000
รอยกคที่ 13	12.02809	0.213997	3.381383
รอยกคที่ 14	12.10589	0.212205	3.308074
รอยกคที่ 15	12.03075	0.216023	3.313421
รอยกคที่ 16	12.00351	0.215672	3.369312
รอยกคที่ 17	12.09495	0.213183	3.295162
รอยกคที่ 18	12.06249	0.213315	3.345049
รอยกคที่ 19	12.05799	0.213517	3.346138
รอยกคที่ 20	12.05803	0.214075	3.328688

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลดิบค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันผลิตภัณฑ์ยี่ห้อปริโวแคร์ชนิดใส

ชั้นตัวอย่างที่ 3

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อปริโวแคร์ (ชั้นตัวอย่างที่ 3)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดุลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	13.71436590	0.157985	2.848730562
รอยกคที่ 2	13.31920508	0.168429	2.980290135
รอยกคที่ 3	13.07495683	0.17636	3.029082870
รอยกคที่ 4	12.91348426	0.181752	3.068668379
รอยกคที่ 5	12.74731404	0.187269	3.121801624
รอยกคที่ 6	12.94573474	0.180405	3.070438769
รอยกคที่ 7	12.89047416	0.182613	3.072118854
รอยกคที่ 8	13.03122033	0.177596	3.047435191
รอยกคที่ 9	13.24437101	0.170562	3.004939559
รอยกคที่ 10	13.27655520	0.169786	2.987768653
รอยกคที่ 11	13.33645118	0.167584	2.989946544
รอยกคที่ 12	13.21607108	0.171629	3.003787436
รอยกคที่ 13	13.18265171	0.173251	2.989390320
รอยกคที่ 14	13.07117015	0.175791	3.057477913
รอยกคที่ 15	12.87380573	0.182074	3.118698327
รอยกคที่ 16	12.91570519	0.181625	3.070275369
รอยกคที่ 17	13.05566546	0.177047	3.031554571
รอยกคที่ 18	13.04452069	0.176972	3.051006877
รอยกคที่ 19	13.25332765	0.169693	3.027344679
รอยกคที่ 20	13.49795601	0.163102	2.939823521

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลดิบค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันผลิตภัณฑ์ยี่ห้อปริโวแคร์ชนิดใส

ชั้นตัวอย่างที่ 4

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อปริโวแคร์ (ชั้นตัวอย่างที่ 4)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยึดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.90909	0.184802	2.967427
รอยกคที่ 2	12.74799	0.189250	3.051577
รอยกคที่ 3	12.57796	0.196493	3.066588
รอยกคที่ 4	12.53541	0.198211	3.074989
รอยกคที่ 5	12.65597	0.194118	3.027188
รอยกคที่ 6	12.66240	0.192843	3.058656
รอยกคที่ 7	12.55701	0.196640	3.092562
รอยกคที่ 8	12.62225	0.193460	3.098524
รอยกคที่ 9	12.60809	0.193987	3.101955
รอยกคที่ 10	12.59147	0.195552	3.075484
รอยกคที่ 11	12.58244	0.196415	3.061635
รอยกคที่ 12	12.55867	0.197272	3.069908
รอยกคที่ 13	12.40023	0.203372	3.117831
รอยกคที่ 14	12.43957	0.200841	3.136526
รอยกคที่ 15	12.51765	0.198534	3.091247
รอยกคที่ 16	12.47827	0.200453	3.090901
รอยกคที่ 17	12.49160	0.199486	3.100728
รอยกคที่ 18	12.52132	0.197724	3.111262
รอยกคที่ 19	12.47971	0.199424	3.120528
รอยกคที่ 20	12.41449	0.203145	3.104048

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลดิบค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันผลิตภัณฑ์ยี่ห้อปริโวแคร์ชนิดใส

ชั้นตัวอย่างที่ 5

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อปริโวแคร์ (ชั้นตัวอย่างที่ 5)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดุลัสของสภาพ ยึดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.14842943	0.207816265	3.381228761
รอยกคที่ 2	11.98521625	0.216341856	3.380050843
รอยกคที่ 3	12.03118397	0.213847833	3.380194848
รอยกคที่ 4	12.03346937	0.213074026	3.402958490
รอยกคที่ 5	11.95768380	0.216077276	3.436159605
รอยกคที่ 6	12.08028629	0.211277348	3.381505941
รอยกคที่ 7	11.96226438	0.216569310	3.412125670
รอยกคที่ 8	11.96462066	0.216372302	3.414635828
รอยกคที่ 9	11.97864146	0.216417764	3.388761041
รอยกคที่ 10	11.96225384	0.217122366	3.394546186
รอยกคที่ 11	11.91403006	0.218504547	3.434636703
รอยกคที่ 12	11.92309681	0.218867359	3.407164649
รอยกคที่ 13	11.97822581	0.216594510	3.383663288
รอยกคที่ 14	11.92272577	0.218548216	3.417793351
รอยกคที่ 15	11.94619756	0.216470434	3.443637252
รอยกคที่ 16	11.89816959	0.218686913	3.456379293
รอยกคที่ 17	11.83097233	0.222129978	3.465473029
รอยกคที่ 18	11.83058451	0.221685439	3.480392485
รอยกคที่ 19	11.89769123	0.219865924	3.419436746
รอยกคที่ 20	11.89334262	0.219133062	3.450876940

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแควร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 1

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีวีแควร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 1)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดุลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.284839	0.2037671	3.2881002
รอยกคที่ 2	12.145049	0.2084586	3.3637723
รอยกคที่ 3	12.134727	0.2080196	3.3971334
รอยกคที่ 4	12.076561	0.2112443	3.3884939
รอยกคที่ 5	12.029216	0.2131569	3.4068621
รอยกคที่ 6	12.081872	0.2100693	3.4184545
รอยกคที่ 7	12.067254	0.2115776	3.3941913
รอยกคที่ 8	12.042379	0.2120477	3.4213804
รอยกคที่ 9	11.989410	0.2160030	3.3830604
รอยกคที่ 10	11.931319	0.2174660	3.4371208
รอยกคที่ 11	11.948409	0.2173054	3.4121231
รอยกคที่ 12	12.001849	0.2134164	3.4469440
รอยกคที่ 13	11.962467	0.2148806	3.4676382
รอยกคที่ 14	12.000649	0.2142320	3.4212756
รอยกคที่ 15	11.943160	0.2145884	3.5133370
รอยกคที่ 16	12.016883	0.2119779	3.4691710
รอยกคที่ 17	11.933643	0.2157858	3.4884921
รอยกคที่ 18	11.911561	0.2176697	3.4651402
รอยกคที่ 19	11.884062	0.2194947	3.4553392
รอยกคที่ 20	11.910396	0.2184103	3.4435804

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแควร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 2

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีวีแควร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 2)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	11.857367	0.2251057	3.3329771
รอยกคที่ 2	11.705975	0.2324225	3.3791782
รอยกคที่ 3	11.672086	0.2331223	3.4171722
รอยกคที่ 4	11.683283	0.2334810	3.3887819
รอยกคที่ 5	11.593167	0.2369572	3.4460027
รอยกคที่ 6	11.637328	0.2351848	3.4190715
รอยกคที่ 7	11.606730	0.2367777	3.4278096
รอยกคที่ 8	11.673804	0.2334875	3.4036287
รอยกคที่ 9	11.643894	0.2328431	3.4729528
รอยกคที่ 10	11.640186	0.2349771	3.4204613
รอยกคที่ 11	11.637667	0.2352749	3.4164910
รอยกคที่ 12	11.627719	0.2354140	3.4296455
รอยกคที่ 13	11.621676	0.2361963	3.4183688
รอยกคที่ 14	11.624982	0.2358186	3.4234006
รอยกคที่ 15	11.645229	0.2358951	3.3871240
รอยกคที่ 16	11.648659	0.2346091	3.4162720
รอยกคที่ 17	11.610232	0.2372863	3.4084267
รอยกคที่ 18	11.615220	0.2368506	3.4123289
รอยกคที่ 19	11.641660	0.2353748	3.4066817
รอยกคที่ 20	11.619851	0.2355308	3.4394872

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อมีวีโวลครั้นชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 3

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อมีวีโวลครั้นที่มี โคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 3)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดุลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.474979	0.1935484	3.3361703
รอยกคที่ 2	12.045946	0.2122076	3.4101567
รอยกคที่ 3	12.110649	0.2098593	3.3760878
รอยกคที่ 4	11.924858	0.2171380	3.4598909
รอยกคที่ 5	11.977117	0.2146881	3.4477414
รอยกคที่ 6	11.868973	0.2186171	3.5112458
รอยกคที่ 7	11.796210	0.2218338	3.5380301
รอยกคที่ 8	11.968883	0.2158110	3.4248583
รอยกคที่ 9	11.921373	0.2175734	3.4515415
รอยกคที่ 10	11.993324	0.2140621	3.4401443
รอยกคที่ 11	12.006955	0.2130588	3.4498674
รอยกคที่ 12	11.838945	0.2197760	3.5276242
รอยกคที่ 13	11.771115	0.2234272	3.5321720
รอยกคที่ 14	11.856934	0.2190226	3.5197043
รอยกคที่ 15	11.786260	0.2228183	3.5236465
รอยกคที่ 16	11.883425	0.2184291	3.4912210
รอยกคที่ 17	11.846881	0.2209614	3.4741118
รอยกคที่ 18	11.826673	0.2202560	3.5338846
รอยกคที่ 19	11.886850	0.2189771	3.4669469
รอยกคที่ 20	11.907437	0.2172498	3.4868888

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลคิค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแควร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 4

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีวีแควร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 4)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	11.959873	0.2142866	3.4925018
รอยกคที่ 2	11.927453	0.2172483	3.4511629
รอยกคที่ 3	11.871174	0.2196178	3.4743201
รอยกคที่ 4	11.754126	0.2241890	3.5379911
รอยกคที่ 5	11.814824	0.2216331	3.5105383
รอยกคที่ 6	11.825896	0.2214726	3.4952082
รอยกคที่ 7	11.779440	0.2229118	3.5330107
รอยกคที่ 8	11.764486	0.2250326	3.4926877
รอยกคที่ 9	11.891041	0.2180946	3.4882668
รอยกคที่ 10	11.986958	0.2126029	3.5018945
รอยกคที่ 11	11.948436	0.2149183	3.4916415
รอยกคที่ 12	11.785106	0.2226637	3.5306433
รอยกคที่ 13	11.747039	0.2239262	3.5601694
รอยกคที่ 14	11.785191	0.2230355	3.5186530
รอยกคที่ 15	11.714363	0.2258163	3.5591957
รอยกคที่ 16	11.681905	0.2280294	3.5487570
รอยกคที่ 17	11.729490	0.2263054	3.5153482
รอยกคที่ 18	11.773013	0.2237949	3.5164259
รอยกคที่ 19	11.797613	0.2218493	3.5345204
รอยกคที่ 20	11.878246	0.2187346	3.4900514

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 1.2
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 5

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 5)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	11.793514	0.2222699	3.5284262
รอยกคที่ 2	11.748635	0.2247283	3.5305177
รอยกคที่ 3	11.764596	0.2243040	3.5154293
รอยกคที่ 4	11.649469	0.2294148	3.5651550
รอยกคที่ 5	11.715937	0.2268506	3.5230337
รอยกคที่ 6	11.723287	0.2258811	3.5402742
รอยกคที่ 7	11.649195	0.2299260	3.5493641
รอยกคที่ 8	11.733333	0.2251634	3.5447072
รอยกคที่ 9	11.785107	0.2236451	3.4992420
รอยกคที่ 10	11.743941	0.2253305	3.5205825
รอยกคที่ 11	11.804512	0.2235732	3.4667201
รอยกคที่ 12	11.731730	0.2257700	3.5282069
รอยกคที่ 13	11.643297	0.2297795	3.5650674
รอยกคที่ 14	11.696439	0.2274606	3.5397539
รอยกคที่ 15	11.586039	0.2322286	3.5943955
รอยกคที่ 16	11.613725	0.2311132	3.5782113
รอยกคที่ 17	11.661205	0.2281951	3.5812602
รอยกคที่ 18	11.751412	0.2238332	3.5548781
รอยกคที่ 19	11.671959	0.2273924	3.5870782
รอยกคที่ 20	11.729149	0.2247214	3.5671731

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 1

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 1)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.387771	0.2010840	3.2103689
รอยกคที่ 2	12.662473	0.1898127	3.1629966
รอยกคที่ 3	12.225957	0.2073986	3.2639708
รอยกคที่ 4	12.104384	0.2118048	3.3224673
รอยกคที่ 5	12.198073	0.2081506	3.2857722
รอยกคที่ 6	12.205322	0.2067898	3.3182580
รอยกคที่ 7	12.294064	0.2044066	3.2497576
รอยกคที่ 8	12.149697	0.2114763	3.2584949
รอยกคที่ 9	12.193899	0.2090177	3.2647679
รอยกคที่ 10	12.539513	0.1962924	3.1304127
รอยกคที่ 11	12.165383	0.2104893	3.2645941
รอยกคที่ 12	12.134698	0.2108700	3.3026544
รอยกคที่ 13	12.018759	0.2160707	3.3319298
รอยกคที่ 14	12.148740	0.2087426	3.3486327
รอยกคที่ 15	11.983641	0.2162300	3.3858633
รอยกคที่ 16	12.085526	0.2127730	3.3239614
รอยกคที่ 17	12.149448	0.2106074	3.2869228
รอยกคที่ 18	12.153481	0.2111046	3.2647215
รอยกคที่ 19	11.844414	0.2224178	3.4332432
รอยกคที่ 20	12.067093	0.2142215	3.3089363

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยัดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อปริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 2

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อปริโวเคร์ที่มี ไคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 2)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยัดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.171222	0.2125113	3.1956854
รอยกคที่ 2	11.922934	0.2222912	3.3058647
รอยกคที่ 3	11.959123	0.2203440	3.3028152
รอยกคที่ 4	11.908770	0.2228721	3.3123524
รอยกคที่ 5	11.912679	0.2213277	3.3502540
รอยกคที่ 6	11.911039	0.2230555	3.3034323
รอยกคที่ 7	11.804385	0.2265031	3.3804993
รอยกคที่ 8	11.910531	0.2228755	3.3092408
รอยกคที่ 9	11.642081	0.2358038	3.3947734
รอยกคที่ 10	11.995616	0.2196421	3.2640527
รอยกคที่ 11	12.012321	0.2200287	3.2275083
รอยกคที่ 12	12.005515	0.2171572	3.3212367
รอยกคที่ 13	11.885058	0.2235575	3.3307909
รอยกคที่ 14	11.948907	0.2205864	3.3127134
รอยกคที่ 15	11.927506	0.2229119	3.2807570
รอยกคที่ 16	11.981688	0.2196990	3.2850208
รอยกคที่ 17	11.859927	0.2252799	3.3237394
รอยกคที่ 18	11.917613	0.2234177	3.2826843
รอยกคที่ 19	11.876911	0.2230215	3.3593281
รอยกคที่ 20	11.888755	0.2241367	3.3085312

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 3

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี ไคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 3)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.224616	0.2062541	3.3038665
รอยกคที่ 2	12.009977	0.2138586	3.4171102
รอยกคที่ 3	11.912248	0.2177982	3.4599192
รอยกคที่ 4	12.099454	0.2099026	3.3938069
รอยกคที่ 5	12.021054	0.2144388	3.3796944
รอยกคที่ 6	12.047844	0.2131097	3.3770908
รอยกคที่ 7	11.981912	0.2156113	3.4093003
รอยกคที่ 8	12.018757	0.2145663	3.3794200
รอยกคที่ 9	11.981644	0.2171140	3.3623629
รอยกคที่ 10	11.840656	0.2216725	3.4628733
รอยกคที่ 11	12.038279	0.2143042	3.3550692
รอยกคที่ 12	11.922227	0.2191304	3.4010954
รอยกคที่ 13	12.009914	0.214821	3.3864542
รอยกคที่ 14	12.001470	0.2162785	3.3544049
รอยกคที่ 15	12.084757	0.2112244	3.3756208
รอยกคที่ 16	12.008932	0.2144223	3.4015189
รอยกคที่ 17	11.935133	0.2179764	3.4145083
รอยกคที่ 18	12.02829	0.2140708	3.3794373
รอยกคที่ 19	12.078936	0.2115188	3.3753828
รอยกคที่ 20	13.115612	0.1737924	3.0693963

ตารางที่ 14 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยัดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 4

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพรีโวแคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 4)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยัดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	11.914643	0.2183441	3.4386485
รอยกคที่ 2	11.680205	0.2288161	3.5273732
รอยกคที่ 3	11.764838	0.2262268	3.4555584
รอยกคที่ 4	11.643250	0.2276017	3.6345027
รอยกคที่ 5	11.767088	0.2246686	3.4988908
รอยกคที่ 6	11.729394	0.2255125	3.5408257
รอยกคที่ 7	11.672962	0.2276343	3.5776997
รอยกคที่ 8	11.688835	0.2286999	3.5152218
รอยกคที่ 9	11.802463	0.2239309	3.4591605
รอยกคที่ 10	11.783473	0.2258304	3.4348328
รอยกคที่ 11	11.726095	0.2275693	3.4831571
รอยกคที่ 12	11.666855	0.2298870	3.5181964
รอยกคที่ 13	11.727483	0.2266367	3.5084495
รอยกคที่ 14	11.718624	0.2271446	3.5094073
รอยกคที่ 15	11.806539	0.2226089	3.4936453
รอยกคที่ 16	11.091903	0.2574268	3.8051142
รอยกคที่ 17	11.596413	0.2337916	3.5288299
รอยกคที่ 18	11.626143	0.2329607	3.5004157
รอยกคที่ 19	11.754448	0.2266629	3.4601206
รอยกคที่ 20	11.669553	0.2298673	3.5146086

ตารางที่ 15 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3
โดยนำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 5

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี ไคโตซานร้อยละ 3.3 โดยนำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 5)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	11.654480	0.2311722	3.5022072
รอยกคที่ 2	11.711269	0.2288394	3.4710239
รอยกคที่ 3	11.773782	0.2257584	3.4533943
รอยกคที่ 4	11.726050	0.2283524	3.4599610
รอยกคที่ 5	11.945003	0.2170396	3.4268815
รอยกคที่ 6	11.791792	0.2252902	3.4370447
รอยกคที่ 7	11.740199	0.2280494	3.4449406
รอยกคที่ 8	11.720958	0.2285670	3.4629607
รอยกคที่ 9	11.759357	0.2266739	3.4519372
รอยกคที่ 10	11.702269	0.2284031	3.5005474
รอยกคที่ 11	11.733559	0.2282583	3.4502182
รอยกคที่ 12	11.633757	0.2315316	3.5287339
รอยกคที่ 13	11.823742	0.2236491	3.4312141
รอยกคที่ 14	11.613249	0.2324443	3.5388317
รอยกคที่ 15	11.752652	0.2263326	3.4740790
รอยกคที่ 16	11.754952	0.2264338	3.4664431
รอยกคที่ 17	11.768482	0.2250497	3.4850981
รอยกคที่ 18	11.737096	0.2265286	3.4946345
รอยกคที่ 19	11.746021	0.2268355	3.4693846
รอยกคที่ 20	11.733348	0.2280952	3.4547483

ตารางที่ 16 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยัดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดย น้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 1

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 1)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยัดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.44728	0.195586	3.306360
รอยกคที่ 2	12.30653	0.200596	3.362143
รอยกคที่ 3	12.25837	0.201495	3.41404
รอยกคที่ 4	12.26299	0.201657	3.399334
รอยกคที่ 5	12.27927	0.201602	3.373036
รอยกคที่ 6	12.15071	0.205651	3.454237
รอยกคที่ 7	12.15667	0.205591	3.445557
รอยกคที่ 8	12.21403	0.203412	3.422800
รอยกคที่ 9	12.23237	0.202784	3.413566
รอยกคที่ 10	12.17853	0.205744	3.401037
รอยกคที่ 11	12.31107	0.199036	3.413856
รอยกคที่ 12	12.20066	0.203260	3.453015
รอยกคที่ 13	12.15656	0.206117	3.426446
รอยกคที่ 14	12.20254	0.204432	3.405361
รอยกคที่ 15	12.10241	0.207190	3.486143
รอยกคที่ 16	11.84246	0.217896	3.585798
รอยกคที่ 17	12.11962	0.207142	3.456286
รอยกคที่ 18	12.14562	0.205486	3.470028
รอยกคที่ 19	12.21073	0.204542	3.386836
รอยกคที่ 20	11.98079	0.211865	3.540899

ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยัดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารไคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดย น้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 2

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี ไคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 2)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยัดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.20257	0.203549	3.439191
รอยกคที่ 2	11.94333	0.213066	3.566520
รอยกคที่ 3	12.04940	0.209477	3.499513
รอยกคที่ 4	12.04378	0.209713	3.501914
รอยกคที่ 5	11.96071	0.214234	3.493534
รอยกคที่ 6	12.00606	0.211659	3.501016
รอยกคที่ 7	12.02443	0.210716	3.501123
รอยกคที่ 8	11.93652	0.214153	3.540831
รอยกคที่ 9	11.93397	0.214919	3.519175
รอยกคที่ 10	11.82433	0.220258	3.538788
รอยกคที่ 11	11.88741	0.217548	3.513495
รอยกคที่ 12	11.97674	0.213177	3.501226
รอยกคที่ 13	11.97844	0.212688	3.515590
รอยกคที่ 14	11.91502	0.216498	3.498985
รอยกคที่ 15	11.96886	0.214766	3.460387
รอยกคที่ 16	11.90662	0.216517	3.514097
รอยกคที่ 17	11.90348	0.215831	3.543908
รอยกคที่ 18	11.84063	0.220340	3.506817
รอยกคที่ 19	11.84369	0.219750	3.520422
รอยกคที่ 20	11.99610	0.212517	3.489154

ตารางที่ 18 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อมีปริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดย น้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 3

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อมีปริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 3)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.19516	0.202041	3.511614
รอยกคที่ 2	12.17430	0.203039	3.510393
รอยกคที่ 3	12.08672	0.206831	3.528355
รอยกคที่ 4	12.10073	0.206620	3.510815
รอยกคที่ 5	12.02979	0.208447	3.575486
รอยกคที่ 6	12.07945	0.206762	3.545194
รอยกคที่ 7	12.03867	0.209388	3.523119
รอยกคที่ 8	11.99287	0.210962	3.551244
รอยกคที่ 9	12.08466	0.207873	3.493826
รอยกคที่ 10	11.98178	0.211911	3.537057
รอยกคที่ 11	11.98839	0.211122	3.553665
รอยกคที่ 12	11.86099	0.216763	3.591417
รอยกคที่ 13	12.04390	0.209002	3.527722
รอยกคที่ 14	12.03127	0.209492	3.532947
รอยกคที่ 15	12.00922	0.209770	3.564576
รอยกคที่ 16	11.97881	0.210431	3.597542
รอยกคที่ 17	12.07245	0.207010	3.548545
รอยกคที่ 18	12.01944	0.210183	3.529973
รอยกคที่ 19	11.94355	0.213292	3.559315
รอยกคที่ 20	12.00722	0.210176	3.552606

ตารางที่ 19 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดย
น้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 4

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 4)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.61442	0.187399	3.339511
รอยกคที่ 2	12.44516	0.194133	3.363603
รอยกคที่ 3	12.49455	0.192628	3.336746
รอยกคที่ 4	12.47293	0.192437	3.383752
รอยกคที่ 5	12.40868	0.195272	3.384335
รอยกคที่ 6	12.41291	0.195537	3.366626
รอยกคที่ 7	12.38196	0.196076	3.400180
รอยกคที่ 8	12.43644	0.194653	3.359467
รอยกคที่ 9	12.44002	0.194406	3.363138
รอยกคที่ 10	12.43929	0.195376	3.326883
รอยกคที่ 11	12.41946	0.194581	3.393025
รอยกคที่ 12	12.42176	0.194859	3.378002
รอยกคที่ 13	12.40296	0.196641	3.341769
รอยกคที่ 14	12.38367	0.196253	3.391207
รอยกคที่ 15	12.42015	0.195091	3.371537
รอยกคที่ 16	12.32478	0.198681	3.401598
รอยกคที่ 17	12.33159	0.197903	3.420399
รอยกคที่ 18	12.35512	0.197960	3.375866
รอยกคที่ 19	12.27750	0.200269	3.426273
รอยกคที่ 20	12.30506	0.200292	3.375567

ตารางที่ 20 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อมีปริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 5 โดย น้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 5

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อมีปริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 5)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.27322	0.202912	3.336447
รอยกคที่ 2	12.34529	0.200133	3.311857
รอยกคที่ 3	12.33462	0.200313	3.324184
รอยกคที่ 4	12.42852	0.196786	3.292586
รอยกคที่ 5	12.34636	0.198040	3.387921
รอยกคที่ 6	12.06269	0.210527	3.437595
รอยกคที่ 7	12.31433	0.200939	3.336020
รอยกคที่ 8	12.07963	0.206270	3.564121
รอยกคที่ 9	12.28097	0.202530	3.336321
รอยกคที่ 10	12.19226	0.205848	3.372645
รอยกคที่ 11	12.35118	0.199436	3.326920
รอยกคที่ 12	12.29593	0.201556	3.345943
รอยกคที่ 13	12.41338	0.196719	3.320671
รอยกคที่ 14	12.30935	0.200135	3.374532
รอยกคที่ 15	12.35797	0.199127	3.326617
รอยกคที่ 16	12.29482	0.201452	3.351346
รอยกคที่ 17	12.24772	0.202827	3.383035
รอยกคที่ 18	12.26691	0.203149	3.338272
รอยกคที่ 19	12.34823	0.198666	3.360632
รอยกคที่ 20	11.78863	0.224384	3.469412

ตารางที่ 21 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 1

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 1)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.91817	0.178073	3.209891
รอยกคที่ 2	12.50217	0.193735	3.280342
รอยกคที่ 3	12.54027	0.192787	3.252168
รอยกคที่ 4	12.47276	0.195744	3.255688
รอยกคที่ 5	12.40819	0.196905	3.322631
รอยกคที่ 6	12.17050	0.205659	3.417202
รอยกคที่ 7	12.38019	0.197593	3.345419
รอยกคที่ 8	12.42274	0.196282	3.319805
รอยกคที่ 9	12.41206	0.196059	3.347393
รอยกคที่ 10	12.39079	0.197883	3.315040
รอยกคที่ 11	12.32369	0.198457	3.412332
รอยกคที่ 12	12.33178	0.199974	3.340414
รอยกคที่ 13	12.53847	0.191217	3.315309
รอยกคที่ 14	12.17516	0.206009	3.396478
รอยกคที่ 15	12.34963	0.198681	3.357006
รอยกคที่ 16	12.32297	0.201217	3.310581
รอยกคที่ 17	12.34304	0.199230	3.348252
รอยกคที่ 18	12.26830	0.202090	3.373138
รอยกคที่ 19	12.24312	0.204485	3.332076
รอยกคที่ 20	12.20989	0.203988	3.408119

ตารางที่ 22 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 2

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 2)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.26327	0.203393	3.336748
รอยกคที่ 2	12.15165	0.206847	3.408540
รอยกคที่ 3	12.05596	0.211341	3.420858
รอยกคที่ 4	11.89422	0.217864	3.490296
รอยกคที่ 5	12.11401	0.209020	3.398733
รอยกคที่ 6	11.95161	0.215203	3.475137
รอยกคที่ 7	12.10689	0.209080	3.408957
รอยกคที่ 8	12.05679	0.212096	3.394437
รอยกคที่ 9	11.96568	0.215147	3.452271
รอยกคที่ 10	12.03149	0.213440	3.393142
รอยกคที่ 11	12.04433	0.213145	3.380715
รอยกคที่ 12	11.91016	0.217912	3.460191
รอยกคที่ 13	11.98128	0.214776	3.437155
รอยกคที่ 14	11.99213	0.214868	3.415485
รอยกคที่ 15	11.63417	0.227549	3.653633
รอยกคที่ 16	12.02659	0.214437	3.369854
รอยกคที่ 17	11.93288	0.218299	3.407535
รอยกคที่ 18	11.98172	0.215830	3.401550
รอยกคที่ 19	11.99297	0.215096	3.406018
รอยกคที่ 20	12.00348	0.214320	3.413231

ตารางที่ 23 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวแควร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5
โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 3

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวแควร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 3)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.08537	0.208166	3.481597
รอยกคที่ 2	12.15504	0.205623	3.446711
รอยกคที่ 3	12.18453	0.204388	3.439315
รอยกคที่ 4	12.10453	0.207439	3.472082
รอยกคที่ 5	12.15098	0.206638	3.417175
รอยกคที่ 6	12.20823	0.204387	3.396271
รอยกคที่ 7	12.12455	0.207331	3.439316
รอยกคที่ 8	12.31032	0.199879	3.382143
รอยกคที่ 9	11.93242	0.214363	3.540783
รอยกคที่ 10	12.09700	0.207649	3.477687
รอยกคที่ 11	12.07073	0.208341	3.501368
รอยกคที่ 12	12.15517	0.205267	3.459554
รอยกคที่ 13	12.07459	0.207926	3.509203
รอยกคที่ 14	12.06929	0.208227	3.507698
รอยกคที่ 15	12.0677	0.210724	3.421444
รอยกคที่ 16	12.1201	0.207443	3.443705
รอยกคที่ 17	12.04708	0.209300	3.510086
รอยกคที่ 18	12.11744	0.206996	3.464431
รอยกคที่ 19	11.93656	0.214936	3.512648
รอยกคที่ 20	12.03966	0.212116	3.423539

ตารางที่ 24 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
หลุมร่องฟันยี่ห้อมีปริโวลแควร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโกลโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5
โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 4

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อมีปริโวลแควร์ที่มี โกลโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 4)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.20588	0.205011	3.379096
รอยกคที่ 2	12.06660	0.209840	3.454762
รอยกคที่ 3	12.18386	0.203083	3.490076
รอยกคที่ 4	11.53071	0.229026	3.812254
รอยกคที่ 5	12.06515	0.209692	3.461906
รอยกคที่ 6	11.99229	0.213342	3.466673
รอยกคที่ 7	12.11869	0.208048	3.424298
รอยกคที่ 8	12.08633	0.208194	3.47784
รอยกคที่ 9	12.99098	0.176221	3.167272
รอยกคที่ 10	12.06965	0.209594	3.457121
รอยกคที่ 11	12.05376	0.208345	3.533349
รอยกคที่ 12	11.98565	0.213121	3.486319
รอยกคที่ 13	12.12548	0.207722	3.424075
รอยกคที่ 14	12.08114	0.208749	3.467298
รอยกคที่ 15	12.02194	0.211832	3.465352
รอยกคที่ 16	12.05767	0.209823	3.471173
รอยกคที่ 17	11.99035	0.212719	3.491618
รอยกคที่ 18	12.05945	0.210641	3.438951
รอยกคที่ 19	12.02935	0.210006	3.517151
รอยกคที่ 20	11.99146	0.212386	3.501595

ตารางที่ 25 แสดงข้อมูลคิบัค่าความลึก ความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบ
 หลุมร่องฟันยี่ห้อพีริโวเคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 6.5
 โดยน้ำหนัก ขึ้นตัวอย่างที่ 5

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีริโวเคร์ที่มี โคโตซานร้อยละ 6.5 โดยน้ำหนัก (ขึ้นตัวอย่างที่ 5)	ความลึก (ไมโครเมตร)	ความแข็ง (จิกะปาสคาล)	ค่ามอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)
รอยกคที่ 1	12.24100	0.202213	3.419190
รอยกคที่ 2	12.12814	0.206048	3.480110
รอยกคที่ 3	12.09588	0.208695	3.442368
รอยกคที่ 4	12.00727	0.212479	3.469056
รอยกคที่ 5	12.18493	0.205378	3.402037
รอยกคที่ 6	11.83000	0.220030	3.534779
รอยกคที่ 7	12.08304	0.208897	3.458540
รอยกคที่ 8	12.09590	0.207925	3.470369
รอยกคที่ 9	12.07986	0.208892	3.464280
รอยกคที่ 10	11.67708	0.226356	3.611850
รอยกคที่ 11	12.06168	0.209529	3.474177
รอยกคที่ 12	12.07000	0.210065	3.439619
รอยกคที่ 13	12.12415	0.207920	3.419101
รอยกคที่ 14	11.99941	0.212512	3.482101
รอยกคที่ 15	12.15675	0.207256	3.385478
รอยกคที่ 16	12.06250	0.210246	3.447581
รอยกคที่ 17	12.12883	0.207874	3.412967
รอยกคที่ 18	12.13404	0.207362	3.422061
รอยกคที่ 19	12.16019	0.206277	3.413614
รอยกคที่ 20	12.00661	0.212172	3.480584

ตารางที่ 26 แสดงการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลความแข็ง และค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ

Material	Hardness		Elastic Modulus	
	Kolmogorov	Sig.	Kolmogorov	Sig.
	Smirnov Z		Smirnov Z	
Prevocare	.576	.894	.593	.873
Prevocare + 1.2% Chitosan	.365	.999	.464	.982
Prevocare + 3.3% Chitosan	.400	.982	.437	.991
Prevocare + 5.0% Chitosan	.349	1.000	.469	.981
Prevocare + 6.5% Chitosan	.697	.717	.635	.815

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติชนิดวันแซมเปิลโคลโมโกรฟ-สเมอนอฟเทส (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มในการทดสอบความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น มีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 27 แสดงการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) ในกลุ่มข้อมูลที่ทำการทดสอบความแข็ง

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hardness	2.195	4	20	.106

ตารางที่ 28 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ของความแข็งของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำการทดสอบ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.002	4	0.000	4.113	.014
Within Groups	.002	20	0.000		
Total	.004	24			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดสอบในการทดสอบความแข็ง ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบอนเฟอโรนนิ (Bonferroni) ระหว่างกลุ่มในการทดสอบความแข็ง

(I) Material	(J) Material	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Prevocare	1.2%chitosan	-.02072560*	.006443578	.043
	3.3%chitosan	-.01817080	.006443578	.106
	5.0% chitosan	-.00339080	.006443578	1.000
	6.5% chitosan	-.00591700	.006443578	1.000
1.2%chitosan	Prevocare	.02072560*	.006443578	.043
	3.3%chitosan	.00255480	.006443578	1.000
	5.0%chitosan	.01733480	.006443578	.141
	6.5%chitosan	.02072560	.006443578	.325
3.3%chitosan	Prevocare	.01817080	.006443578	.106
	1.2%chitosan	-.00255480	.006443578	1.000
	5.0%chitosan	.01478000	.006443578	.328
	6.5%chitosan	.01225380	.006443578	.717

(I) Material	(J) Material	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
5.0%chitosan	Prevocare	.00339080	.006443578	1.000
	1.2%chitosan	-.01733480	.006443578	.141
	3.3%chitosan	-.01478000	.006443578	.328
	6.5%chitosan	-.00252620	.006443578	1.000
6.5%chitosan	Prevocare	.00591700	.006443578	1.000
	1.2%chitosan	-.01480860	.006443578	.325
	3.3%chitosan	-.01225380	.006443578	1.000
	5.0%chitosan	.00252620	.006443578	1.000

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 30 แสดงการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) ในกลุ่มข้อมูลที่ทำกรทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ทำกรทดสอบ

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Elastic Modulus	5.694	4	20	0.003

พบว่าข้อมูลค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น มีความแตกต่างกันของความแปรปรวน ดังนั้นจำเป็นต้องนำค่าความแปรปรวนมาใช้ในการคำนวณการเปรียบเทียบเชิงซ้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.180	4	.045	4.363	.011
Within Groups	.207	20	.010		
Total	.387	24			

จากการที่ข้อมูลค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น มีความแตกต่างกันของความแปรปรวน จึงมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบยืนยันภาวะเท่ากันของค่าเฉลี่ย (Robust Tests of Equality of Means) โดยวิธี Welch (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 32 แสดงการทดสอบยืนยันภาวะเท่ากันของค่าเฉลี่ย

		Statistic	df1	df2	Sig.
Elastic Modulus	Welch	2.164	4	9.766	.149

ตารางที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดตามเฮน (Tamhane) ระหว่างกลุ่มในการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

(I) Material	(J) Material	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Prevocare	1.2%chitosan	-.24030048	.079932432	.270
	3.3%chitosan	-.15895563	.088473608	.717
	5.0% chitosan	-.21182216	.083738116	.382
	6.5% chitosan	-.19706342	.079932432	.451

(I) Material	(J) Material	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1.2%chitosan	Prevocare	.24030048	.079932432	.270
	3.3%chitosan	.08134485	.051882081	.838
	5.0%chitosan	.02847832	.043315621	.999
	6.5%chitosan	.04323705	.035540979	.950
3.3%chitosan	Prevocare	.15895563	.088473608	.717
	1.2%chitosan	-.08134485	.051882081	.838
	5.0%chitosan	-.05286653	.057572812	.992
	6.5%chitosan	-.03810780	.051976407	.999
5.0%chitosan	Prevocare	.21182216	.083738116	.382
	1.2%chitosan	-.02847832	.043315621	.999
	3.3%chitosan	.05286653	.057572812	.992
	6.5%chitosan	.01475874	.043428556	1.000
6.5%chitosan	Prevocare	.19706342	.079993689	.451
	1.2%chitosan	-.04323705	.035540979	.950
	3.3%chitosan	.03810780	.051976407	.999
	5.0%chitosan	-.01475874	.043428556	1.000

ตารางที่ 34 แสดงข้อมูลคิบัค่าความถี่ของการแข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใสและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพรีโวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5
พรีโวแคร์	5.948	5.958	5.96	5.954	5.940
พรีโวแคร์ที่มีโคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	5.944	5.957	5.951	5.952	5.960

ตารางที่ 35 แสดงการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลค่าความลึกของการแข็งตัวของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

Material	Depth of Cure	
	Kolmogorov Smirnov Z	Sig.
Prevocare	.485	.973
Prevocare + 3.3% Chitosan	.413	.996

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรฟ-สเมอนอฟเทส (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มในการทดสอบความลึกของการแข็งตัว มีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความลึกการแข็งตัวของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่ม โดยวิธีอินดิเพนเดนท์ แซมเปิลทีเทส (Independent Sample t-test)

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence interval of the Difference	
					Lower	Upper
Depth of Cure	.275	8	.790	.00100	-.007372	.009372

ตารางที่ 37 แสดงข้อมูลคิบัค่าความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อ
ฟรีไวแคร์ชนิดใส (วัด 4 ตำแหน่งต่อ 1 ชั้นตัวอย่าง)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแคร์	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านบน	ด้านล่าง
ชั้นตัวอย่างที่ 1	7.43	8.23	8.58	7.27
ชั้นตัวอย่างที่ 2	8.32	7.05	7.17	8.74
ชั้นตัวอย่างที่ 3	6.86	10.83	9.44	8.85
ชั้นตัวอย่างที่ 4	7.93	9.7	8.78	9.11
ชั้นตัวอย่างที่ 5	8.64	7.46	7.55	7.81

ตารางที่ 38 แสดงข้อมูลคิบัค่าความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อ
ฟรีไวแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยวิสเกอร์ของสารโคโตซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก
(วัด 4 ตำแหน่งต่อ 1 ชั้นตัวอย่าง)

วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อฟรีไวแคร์ ที่มีโคโตซานร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	ด้านขวา	ด้านซ้าย	ด้านบน	ด้านล่าง
ชั้นตัวอย่างที่ 1	7.07	7.48	7.43	7.38
ชั้นตัวอย่างที่ 2	7.5	8.45	8.15	7.58
ชั้นตัวอย่างที่ 3	7.89	8.04	7.63	8.25
ชั้นตัวอย่างที่ 4	8.84	9.05	6.85	6.84
ชั้นตัวอย่างที่ 5	7.39	7.41	7.24	8.05

ตารางที่ 39 แสดงการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลค่าความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

Material	Uncured Film Thickness	
	Kolmogorov Smirnov Z	Sig.
Prevocare	.793	.556
Prevocare + 3.3% Chitosan	.735	.652

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรฟ-สเมอนอฟเทส (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มในการทดสอบความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัว มีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของชั้นผิวที่ไม่แข็งตัวของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่มโดยวิธีอินดิเพนเดนท์ แซมเปิลทีเทส

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence interval of the Difference	
					Lower	Upper
Uncured film thickness	1.912	5.660	.107	.56150	-.16764	1.29064

ตารางที่ 41 แสดงข้อมูลดิบแสดงค่า m_1 , m_2 , และ m_3 , d_1 , และ d_2 (เส้นผ่าศูนย์กลางตำแหน่งที่ 1, และ 2), r (รัศมี), t -center (ความหนากลางชิ้นงาน), t_1 , t_2 , t_3 , และ t_4 (ความหนาดำแหน่งที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ) ในการทดสอบเรื่องการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใส

พีวีแคร์	m_1	m_2	m_3	d_1	d_2	mean	r
ชิ้นตัวอย่างที่ 1	84000	85800	83500	14.903	14.875	14.889	7.4445
ชิ้นตัวอย่างที่ 2	77500	79100	77000	14.855	14.854	14.8545	7.42725
ชิ้นตัวอย่างที่ 3	89800	92000	89200	14.904	14.905	14.9045	7.45225
ชิ้นตัวอย่างที่ 4	81100	83000	80500	14.925	14.937	14.9310	7.4655
ชิ้นตัวอย่างที่ 5	79400	82000	78900	14.940	14.945	14.9425	7.47125

พีวีแคร์	t -center	t_1	t_2	t_3	t_4	mean
ชิ้นตัวอย่างที่ 1	0.405	0.400	0.401	0.402	0.402	0.4020
ชิ้นตัวอย่างที่ 2	0.379	0.381	0.399	0.375	0.407	0.3882
ชิ้นตัวอย่างที่ 3	0.441	0.432	0.435	0.423	0.437	0.4336
ชิ้นตัวอย่างที่ 4	0.394	0.394	0.396	0.390	0.387	0.3922
ชิ้นตัวอย่างที่ 5	0.383	0.381	0.381	0.380	0.382	0.3814

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 42 แสดงข้อมูลดิบแสดงค่า m_1 , m_2 , และ m_3 , d_1 , และ d_2 (เส้นผ่าศูนย์กลางตำแหน่งที่ 1, และ 2), r (รัศมี), t -center (ความหนากลางชิ้นงาน), t_1 , t_2 , t_3 , และ t_4 (ความหนาดำแหน่งที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ) ในการทดสอบเรื่องการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยี่ห้อพีวีแคร์ชนิดใสที่เสริมเส้นใยของสารโคโตะซานในปริมาณร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก

พีวีแคร์ที่มีโคโตะซาน ร้อยละ 3.3 โดยน้ำหนัก	m_1	m_2	m_3	d_1	d_2	mean	r
ชิ้นตัวอย่างที่ 1	86000	88300	84600	14.769	14.818	14.7935	7.39675
ชิ้นตัวอย่างที่ 2	92100	95200	91200	14.871	14.856	14.8635	7.43175
ชิ้นตัวอย่างที่ 3	84400	87200	83600	14.852	14.841	14.8465	7.42325
ชิ้นตัวอย่างที่ 4	93500	96300	92200	14.816	14.855	14.8355	7.41775
ชิ้นตัวอย่างที่ 5	90900	93800	89800	14.829	14.908	14.8685	7.43425

พีวีแคร์ที่มีโคโตะซาน ร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนัก	t -center	t_1	t_2	t_3	t_4	mean
ชิ้นตัวอย่างที่ 1	0.422	0.419	0.422	0.412	0.426	0.4202
ชิ้นตัวอย่างที่ 2	0.456	0.458	0.448	0.453	0.451	0.4532
ชิ้นตัวอย่างที่ 3	0.417	0.409	0.414	0.413	0.414	0.4134
ชิ้นตัวอย่างที่ 4	0.459	0.459	0.451	0.459	0.450	0.4556
ชิ้นตัวอย่างที่ 5	0.447	0.440	0.448	0.449	0.440	0.4448

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 43 แสดงการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

Material	Water Sorption		Water Solubility	
	Kolmogorov	Sig.	Kolmogorov	Sig.
	Smirnov Z		Smirnov Z	
Prevocare	.634	.817	.596	.869
Prevocare+3.3% Chitosan	.400	.997	.479	.976

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติวันแซมเปิลโคลโมโกรฟ-สเมอนอฟเทส (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มในการทดสอบการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ มีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ ที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของวัสดุที่ทดสอบทั้งสองกลุ่ม โดยวิธีอินดิเพนเดนท์ แซมเปิลทีเทส

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence interval of the Difference	
					Lower	Upper
					Water Sorption	-5.472
Water Solubility	-4.312	4.257	.011	-6.80750	-11.0885	-2.526501

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางอสมมา ปาลเดชพงศ์ (นามสกุลเดิม เหล่าอากาศวงศ์) เกิดเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2520 สถานที่เกิดจังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และเข้าศึกษาต่อในชั้นอุดมศึกษาที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในปีการศึกษา 2537 โดยจบการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2543 หลังจบการศึกษา เข้ารับราชการเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลอำเภอบ้านฝ้อ จังหวัดอุดรธานี และในปี พ.ศ. 2546 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรประกาศนียบัตรการแพทย์คลินิก สาขาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2547 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้ไปเสนอ ผลงานวิจัยเรื่อง Hardness and Elastic Modulus of Nano-whisker Reinforced Sealant ในงาน ประชุม 45th Annual Meeting of the Australian/ New Zealand Division of The International Association for Dental Research ซึ่งจัดขึ้นเมื่อวันที่ 25-28 กันยายน 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย