

ผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันที่สัมผัสกับน้ำคอลลิน :
การศึกษาในห้องปฏิบัติการ



นางสาว ธาวิณี พนมเริงศักดิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF CPP-ACP PASTE ON HARDNESS OF ENAMEL EXPOSED TO
CHLORINATED WATER : AN IN VITRO STUDY



Miss Tharinee Phanomroengsak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Pediatric Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของซีพีพี-เอซีทีเพสต์ต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันที่สัมผัสกับน้ำ

คลอรีน : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

โดย

นางสาว ธาริณี พนมเรียงศักดิ์

สาขาวิชา

ทันตกรรมสำหรับเด็ก

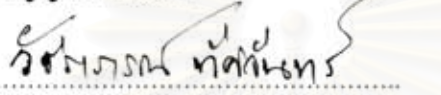
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สมหมาย ขอบอิสระ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภากรณ์ ทัศนจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง รุจิรา เมื่อน้อยกา)



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สมหมาย ขอบอิสระ)



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สุภาภรณ์ จงวิศาล)



กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ทันตแพทย์ วรชน ยุกตานนท์)

ธาริณี พนมเวงศักดิ์ : ผลของซีพีพี-เอซีทีเพสต์ต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสกับน้ำ
 คลอรีน : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ. (EFFECT OF CPP-ACP PASTE ON
 HARDNESS OF ENAMEL EXPOSED TO CHLORINATED WATER : AN IN VITRO
 STUDY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทพ. สมหมาย ขอบอิสระ, อ.ที่ปรึกษา
 วิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ทพ.ดร. สุจิต พูลทอง, 89 หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของเคซีน ฟอสโฟเปปไทด์-อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟตเพสต์
 (ซีพีพี-เอซีทีเพสต์) ที่มีต่อความแข็งของเคลือบฟันที่ไม่ผ่านการขัดที่สัมผัสน้ำคลอรีนในห้อง
 ปฏิบัติการ

วัสดุและวิธีการ เตรียมฟันกรามน้อยที่ถอนเพื่อวัตถุประสงค์ในการจัดฟันทั้งหมด 12 ซี่ สำหรับ
 ทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน สุ่มตัวอย่างแบบอิสระเป็น 2 กลุ่ม
 กลุ่มทดลองนำไปทาสีพีพี-เอซีทีเพสต์เป็นเวลา 3 นาที และแช่น้ำลายเทียมเป็นเวลา 30 นาที
 ส่วนกลุ่มควบคุมไม่ได้ทาสารใดๆ ทดสอบความแข็งเคลือบฟันก่อนและหลังจากนำทั้งสองกลุ่มไป
 แช่น้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่น้ำลายเทียมอีก
 8 ชั่วโมง นำค่าความแข็งหน่วยเป็น จิกะปาสคาล มาวิเคราะห์ด้วยสถิติวิลคอกชัน ไซน์ แรงค์
 เทสต์ ($p=0.05$)

ผลการศึกษา ค่าความแข็งของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่าง
 เท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่น้ำลายเทียมอีก 8 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มี
 นัยสำคัญทางสถิติทั้งในกลุ่มควบคุม (4.34 ± 0.92 และ 4.38 ± 0.72 จิกะปาสคาล) และกลุ่ม
 ทดลอง (4.91 ± 0.32 และ 5.05 ± 1.29 จิกะปาสคาล)

สรุป ซีพีพี-เอซีทีเพสต์ไม่มีผลต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรด
 ต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่น้ำลายเทียม 8 ชั่วโมง ในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...ทันตกรรมสำหรับเด็ก..... ลายมือชื่อนิสิต ธาริณี พนมเวงศักดิ์
 สาขาวิชา...ทันตกรรมสำหรับเด็ก..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สมหมาย ขอบอิสระ
 ปีการศึกษา...2551..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สุจิต พูลทอง

4976109332 : MAJOR PEDIATRIC DENTISTRY

KEYWORDS : casein phosphopeptide-amorphous calciumphosphate / chlorinated water / enamel / hardness / nanoindentation system

THARINEE PHANOMROENSAK : EFFECT OF CPP-ACP PASTE ON HARDNESS OF ENAMEL EXPOSED TO CHLORINATED WATER : AN IN VITRO STUDY. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMMAI CHOBISARA, CO-ADVISOR : ASST.PROF. SUCHIT POOLTHONG, Ph.D., 89 pp.

Objective The purpose of this study was to assess the effect of casein phosphopeptide-amorphous calciumphosphate paste (CPP-ACP paste) on intact enamel exposed to chlorinated water.

Materials and methods Twelve human premolars extracted for orthodontic reason were prepared for hardness measurement using nanoindentation system. The specimens were randomly divided into two groups. The experimented group was applied with CPP-ACP paste on intact enamel surface for three minutes and immersed in artificial saliva for 30 minutes while the controlled group was left unapplied. Hardness in GPa was measured before and after being exposed to chlorinated water (pH 5.3) for 2 hours and artificial saliva for 8 hours. The data were analyzed by Wilcoxon signed rank test ($p=0.05$).

Results The result showed that the hardness of the intact enamel before and after exposed to chlorinated water (pH 5.3) for 2 hours and artificial saliva for 8 hours was insignificantly changed in both of the controlled group (4.34 ± 0.92 and 4.38 ± 0.72 GPa) and experimented group (4.91 ± 0.32 and 5.05 ± 1.29 GPa).

Conclusion We concluded that CPP-ACP paste did not have any effect on enamel hardness exposed to chlorinated water (pH 5.3) for 2 hours and artificial saliva for 8 hours in vitro.

Department : Pediatric dentistry.....

Student's Signature : 

Field of Study : Pediatric dentistry.....

Advisor's Signature : 

Academic Year : 2008.....

Co-Advisor's Signature : 

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสะดวกและช่วยเหลือจาก รศ.ทพ. สมหมาย ขอบอิสระ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ทพ.ดร. สุจิต พูลทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ทพญ. รุจิรา เฟื่อนอัยกา รศ.ทพญ. สุภาภรณ์ จงวิศาล และ อ.ทพ. วรชน ยุกตานนท์ ประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาอ่านและเสนอแนะข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่าน โดยเฉพาะคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาตั้งสอนอบรมวิชาความรู้ต่างๆ ตลอดจนคุณธรรมและจรรยาบรรณแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ทพญ. จันทนา อึ้งชูศักดิ์ สำหรับข้อมูลและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำทางสถิติที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก สำหรับคำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ การอำนวยความสะดวกในการใช้ห้อง และความช่วยเหลือต่างๆด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการศึกษาตลอดหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมสำหรับเด็ก จากโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภาอากาศไทย และผู้ร่วมงานในแผนกทันตกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา ทุกท่านที่ได้เสียสละในการทำงานเพื่อให้โอกาสผู้วิจัยมาศึกษาต่อ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่ได้อยู่เบื้องหลังและสนับสนุนการเรียน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และผู้มีพระคุณที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ได้ช่วยเหลือการทำงานด้วยไมตรีจิตมาโดยตลอด

ประโยชน์และความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขออุทิศส่วนกุศลทั้งหมดแด่ นางประไพ พนมเริงศักดิ์ มารดาของผู้วิจัย ด้วยความรักและเคารพยิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำสำคัญ.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข.....	6
ปัญหาทางจริยธรรม.....	7
รูปแบบการวิจัย.....	7
กรอบแนวความคิดของการวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
พินสีกร่อนและกระบวนการเกิด.....	8
สาเหตุของพินสีกร่อน.....	9
ลักษณะของพินสีกร่อนจากการร่วยน้ำ.....	10
พินสีกร่อนจากการร่วยน้ำและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11

บทที่	หน้า
มาตรการในการป้องกันพิษสีก่อนจากการว่ายน้ำ.....	13
เคซีน โพลีโพรไพลีน-อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต	15
ความสัมพันธ์ระหว่างพิษสีก่อนกับการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเคลือบฟัน.....	21
เทคนิคการวัดพิษสีก่อนในห้องปฏิบัติการ	21
การทดสอบความแข็งในระดับนาโน	22
3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
ประชากรที่ศึกษา	27
ตัวอย่าง	27
เกณฑ์การคัดเข้า.....	27
เกณฑ์การคัดออก	27
ขนาดตัวอย่าง.....	28
สิ่งแทรกแซง	29
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	30
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	32
แผนภูมิสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	39
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	40
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
ผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน.....	42
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
5 อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย.....	49
รายการอ้างอิง.....	57

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก วิธีวัดความแม่นยำของเครื่อง.....	64
ภาคผนวก ข ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัยและแนวทางแก้ไข.....	65
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงในระดับนาโน ก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3.....	66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	78



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 สรุปผลการสำรวจค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำ.....	11
ตารางที่ 2 สรุปการศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีที่มีต่อพืชน้ำ.....	18
ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการวัดความแข็งระดับนาโน.....	36
ตารางที่ 4 แสดงตารางบันทึกผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งระดับนาโน.....	40
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของค่าความแข็ง และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนของ กลุ่มควบคุม.....	42
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของค่าความแข็ง และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนของ กลุ่มทดลอง.....	43
ตารางที่ 7 แสดงความแตกต่างของค่าความแข็งและค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 5.3.....	45
ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งและมอดูลัสของสภาพ ยืดหยุ่นของเคลือบฟันก่อนและหลังแช่ในน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่าง ต่างๆ.....	47
ตารางที่ 9 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ไข.....	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ซีพีพี-เอซีพีเฟสต์.....	20
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน.....	23
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะกราฟโพลด-ดีสเพลสเมนต์.....	24
ภาพที่ 4 แสดงกราฟโพลด-ดีสเพลสเมนต์ที่มีลักษณะผิดปกติ.....	28
ภาพที่ 5 แสดงแบบหล่อซิลิโคนสำหรับเป็นแบบในการเทเรซินทรงกระบอก.....	32
ภาพที่ 6 แสดงเรซินทรงกระบอกที่มีร่องสี่เหลี่ยมตรงกลางสำหรับฝังชิ้นฟัน.....	33
ภาพที่ 7 แสดงชิ้นตัวอย่างที่ยึดติดกับฐานโลหะ.....	34
ภาพที่ 8 แสดงการหาพื้นที่ระนาบบนผิวเคลือบฟันที่จะทดสอบ.....	34
ภาพที่ 9 แสดงพื้นที่ระนาบบริเวณส่วนกลางเคลือบฟัน.....	35
ภาพที่ 10 แสดงรอยกดก่อนและหลังแช่ฟันในน้ำคลอรีน.....	38
ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัส น้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3.....	46
ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบฟันก่อน และหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3.....	46
ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีน และร้อยละของความแข็งเคลือบฟันที่เปลี่ยนแปลงหลังสัมผัสน้ำคลอรีน.....	48

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาวายน้ำเป็นกีฬาที่ช่วยบริหารกล้ามเนื้อของร่างกายได้ทุกส่วน ให้ความเพลิดเพลิน อีกทั้งยังเป็นทักษะที่ผู้ปกครองส่วนใหญ่เห็นความสำคัญในการสนับสนุนให้เด็กฝึกฝนจนเกิดทักษะที่ดีเพื่อช่วยเหลือตนเองและผู้อื่นในยามฉุกเฉิน อย่างไรก็ตามหากสระว่ายน้ำไม่มีระบบการจัดการดูแลที่ดีเป็นผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระต่ำกว่ามาตรฐานจะก่อให้เกิดผลข้างเคียงทางด้านสุขภาพคือ ระคายเคืองตา ผิวหนังถูกทำลาย มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย คลื่นไส้ และมีผลต่อระบบหายใจ ตลอดจนทำให้พื้สีกกร่อน (1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาวายน้ำที่ต้องฝึกซ้อมว่ายน้ำเป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงต่อสัปดาห์ เนื่องจากขณะว่ายน้ำพื้สีกจะสัมผัสกับน้ำในสระคล้ายกับกรณีที่บริเวณเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง แต่มีความแตกต่างกันที่ชนิดของกรดที่ทำให้เกิดการสีกกร่อน มีรายงานการเกิดพื้สีกกร่อนครั้งแรกในกลุ่มนักกีฬาวายน้ำที่ประเทศสหรัฐอเมริกา พบพื้สีกกร่อนอย่างรุนแรงในนักกีฬาวายน้ำที่ฝึกซ้อมว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างเพียง 2.7 (2) และต่อมามีรายงานผู้ป่วยที่พบนักกีฬาวายน้ำมีพื้สีกกร่อนอย่างรวดเร็วหลังจากฝึกซ้อมว่ายน้ำเป็นระยะเวลาเพียง 27 วัน (3)

ในประเทศไทยพบรายงานการเกิดพื้สีกกร่อนจากการว่ายน้ำครั้งแรกที่จังหวัดพิษณุโลก โดยทันตแพทย์ตรวจพบว่านักกีฬาวายน้ำจำนวน 20 คนมีพื้สีกกร่อนมากบริเวณพื้หน้าบนจนมีอาการสำคัญ คือ เสียวพื้ ค่าเฉลี่ยพื้สีกกร่อนเท่ากับ 16.3 ซึ่งต่อคน คิดเป็นร้อยละ 62 ของจำนวนพื้ที่ตรวจ (4) และมีรายงานความชุกของการเกิดพื้สีกกร่อนในนักกีฬาวายน้ำในเขตกรุงเทพมหานครถึงร้อยละ 90.19 และผลการสำรวจค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระพบว่ามีความเป็นกรดต่างระหว่าง 5-7.9 และค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นค่าที่มีความถี่สูงสุด (5) สอดคล้องกับการศึกษาในกรุงเทพมหานครที่ได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำจากสระว่ายน้ำ 6 แห่ง พบว่าค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระอยู่ระหว่าง 3.6-8.0 (6) ซึ่งต่ำกว่าระเบียบข้อบังคับในการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำตามข้อบังคับของกรุงเทพมหานครว่าด้วยหลักเกณฑ์การประกอบการค้า ซึ่งเป็นที่รังเกียจหรืออาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ประเภทการจัดตั้งสระว่ายน้ำ พ.ศ. 2530 ที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.2-8.4 และต่ำกว่าค่าความเป็นกรดต่างวิกฤติ (critical pH) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5 ที่จะทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของพื้ได้ (4)

ในระยะแรกของฟันสึกกร่อนจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนทางคลินิก แต่ถ้านำมาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) จะพบลักษณะการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันเป็นแบบรังผึ้ง (honeycomb-like etch pattern) (7) ต่อมาเมื่อมีการสูญเสียแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างฟันอย่างต่อเนื่องจะเริ่มพบการเปลี่ยนแปลงทางคลินิกคือ ผิวเคลือบฟันด้าน ความมันวาวลดลง เมื่อการสึกกร่อนเกิดมากขึ้นจนถึงชั้นเนื้อฟันจะเกิดอาการเสียวฟันซึ่งมักเป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยมาพบทันตแพทย์ ฟันที่มีวัสดุอุดจะพบลักษณะคล้ายกับขอบวัสดุอุดยกสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียของผิวฟันโดยรอบ ผิวฟันเป็นรอยเว้าลึก และเรียบเป็นมัน นอกจากนี้การสูญเสียแร่ธาตุทำให้ผิวฟันอ่อนตัวลง มีความต้านทานต่อการขัดสีและแรงบดเคี้ยวน้อยลงส่งผลให้มีการสูญเสียแร่ธาตุเพิ่มขึ้นได้ สำหรับในรายที่เกิดการสึกกร่อนอย่างรุนแรงอาจพบว่าทะลุโพรงในตัวฟันได้ (8)

แนวทางในการป้องกันการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำคือ การควบคุมคุณภาพน้ำให้มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและต้องตรวจวัดทุกวัน ประการสำคัญควรให้ความรู้แก่ผู้ดูแลสระว่ายน้ำ นักกีฬาว่ายน้ำ ผู้ว่ายน้ำทั่วไป และผู้ปกครองให้เข้าใจถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นจากการว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่ามาตรฐานเพื่อให้ร่วมกันเฝ้าระวัง นอกจากนี้มาตรการป้องกันเฉพาะที่ก็มีความจำเป็นสำหรับนักกีฬาว่ายน้ำและผู้ว่ายน้ำ เนื่องจากผลการสำรวจยังพบว่าน้ำในสระว่ายน้ำมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่ามาตรฐาน มีการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าฝือกฟัน (dental splint) ช่วยป้องกันฟันสึกกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (9) และมีการศึกษาในสถานการณ์จริงที่พบว่าการใช้ฝือกฟันเฉพาะบุคคล (closed-fitting mouthguard) ในขณะที่ว่ายน้ำช่วยลดอาการเสียวฟันในนักกีฬาว่ายน้ำได้ (10) และเป็นที่ยอมรับว่าการใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ (remineralization) ช่วยให้ผิวเคลือบฟันมีความแข็งเพิ่มขึ้นได้ (11) และเป็นมาตรการที่สำคัญในการรักษาฟันสึกกร่อนในปัจจุบัน (8,12) แต่การใช้ฟลูออไรด์มีข้อจำกัด คือ ผู้ป่วยไม่สามารถทำได้เองที่บ้านและต้องระมัดระวังการกลืนฟลูออไรด์จนก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน (13) อีกทั้งนอกจากฟลูออไรด์แล้วยังมีแร่ธาตุอื่น ๆ ที่มีความสำคัญต่อการคืนกลับแร่ธาตุ แคลเซียมและฟอสเฟตเป็นแร่ธาตุที่ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ทางทันตกรรมมากขึ้น โดยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ

เคซีน ฟอสโฟเปปไทด์-อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต หรือ ซีพีพี-เอซีพี (Casein phosphopeptide-amorphous calciumphosphate : CPP-ACP) เป็นสารประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน การศึกษาประสิทธิภาพของซีพีพี-เอซีพีที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ หมากฝรั่ง เม็ดอม และครีมทาเฉพาะที่พบว่าซีพีพี-เอซีพีช่วยส่งเสริมกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุ (14, 15, 16) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมซีพีพี-เอซีพีในเครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา (sport drink) ช่วยลดความสามารถในการทำให้เกิดฟันสึกกร่อนของเครื่องดื่มได้ (17) การศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีต่อความแข็งของเคลือบฟันที่ถูกสึกกร่อนด้วยเครื่องดื่มโคล่าในห้องปฏิบัติการพบว่าซีพีพี-เอซีพีมีผลทำให้เคลือบฟันมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (18, 19) แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าการ ศึกษาในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ทำการศึกษาโดยใช้ผิวเคลือบฟันที่ผ่านการขัดผิวหน้าให้เรียบ ผิวเคลือบฟันที่ได้จึงมีความแข็งน้อยลงและง่ายต่อการสึกกร่อนซึ่งไม่ใช่สภาวะที่แท้จริงทางคลินิก (20)

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวของซีพีพี-เอซีพี ในปัจจุบันจึงมีการนำซีพีพี-เอซีพีมาใช้ทางทันตกรรมภายใต้ชื่อการค้า Recaldent® และ Phoscal® ผลิตภัณฑ์จะอยู่ในรูปของหมากฝรั่ง ครีมทาเฉพาะที่ สเปรย์ที่ช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ช่องปาก โดยบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้ใช้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองในกรณีป้องกันการเกิดฟันผุและฟันสึกกร่อน ซึ่งการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีความสะดวกที่ผู้ป่วยสามารถใช้ได้เองที่บ้าน จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อการป้องกันฟันสึกกร่อนจากการร่อนน้ำด้วยการใช้ผิวเคลือบฟันที่แท้จริงตามธรรมชาติ (intact enamel) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคอลลอยด์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เคลือบฟันที่ไม่ได้ผ่านการขัดและประเมินผลจากการเปลี่ยนแปลงความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟัน (elastic modulus) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน (Nano-mechanical instrument; UMIS II CRISO, Australia)

คำถามการวิจัย

คำถามหลัก : การใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์มีผลต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการหรือไม่

คำถามรอง : การใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงในระดับนาโนสามารถวัดความแข็งแรงของเคลือบฟันที่ไม่ได้ผ่านการขัดได้หรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก : เพื่อศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์รอง : เพื่อศึกษาวิธีการวัดความแข็งแรงของเคลือบฟันที่ไม่ได้ผ่านการขัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงในระดับนาโน

สมมติฐานการวิจัย

การใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในฟันกรามน้อยที่ถอนเพื่อการจัดฟัน โดยใช้เคลือบฟันตามธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการขัด นำไปทำให้สึกกร่อนด้วยน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ เพื่อจำลองการว่ายน้ำและประเมินผลจากการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงและมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงในระดับนาโน

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่างๆในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย
2. เคลือบฟันตามธรรมชาติของฟันที่เดียวกันที่ไม่ได้มีการขัดผิวหน้ามีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน โดยทำการศึกษานำร่องในบริเวณผิวเคลือบฟันที่ได้ระนาบและพบว่ามีความแข็งไม่แตกต่างกัน
3. การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเคลือบฟันแสดงถึงการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) หรือการคืนกลับแร่ธาตุ เนื่องจากมีการศึกษาที่พบว่าฟันสึกกร่อนจะมีค่าความแข็งของเคลือบฟันลดลง และในทางตรงกันข้ามฟันที่มีการคืนกลับแร่ธาตุจะมีค่าความแข็งของเคลือบฟันเพิ่มขึ้น (21)

ข้อจำกัดของการวิจัย

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสกับน้ำคอลลรีนในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้มีข้อจำกัดบางประการที่ทำให้มีความแตกต่างจากสภาวะที่แท้จริงทางคลินิก เช่น น้ำลายเทียมไม่มีคุณสมบัติในการสร้างเยื่อผิว (pellicle) ปกคลุมฟัน และน้ำลายเทียมไม่มีโปรตีนต่างๆที่ช่วยในการปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลาย

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ผิวเคลือบฟันปกติ หมายถึง ผิวเคลือบฟันกรามน้อยที่ปราศจากรอยผุ รอยอุด รอยแตกร้าว หรือลักษณะที่ผิดปกติต่างๆ ได้แก่ ฟันที่มีจุดขาวคล้ายชอล์ก (white lesion) ฟันเปลี่ยนสี ฟันตกกระ ฟันที่มีการเจริญพร่องของผิวเคลือบฟัน (enamel hypoplasia)
2. ขึ้นตัวอย่าง หมายถึง เคลือบฟันด้านแก้ม (buccal) ของฟันกรามน้อยที่นำมาฝังในเรซินทรงกระบอกและมีพื้นที่ระนาบบริเวณส่วนกลาง (middle third) ของเคลือบฟัน
3. การสัมผัสกับน้ำคอลลรีน หมายถึง การสร้างลักษณะฟันสึกกร่อนที่ผิวเคลือบฟันเพื่อจำลองการสึกกร่อนที่เกิดจากการร่วน้ำ โดยแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำคอลลรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 (5) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (4, 6)

คำสำคัญ

การทดสอบความแข็งในระดับนาโน; ความแข็ง; เคซีนฟอสโฟเปปไทด์-อะมอร์ฟัส แคลเซียมฟอสเฟต; เคลือบฟัน; น้ำคลอรีน

Nanoindentation system; hardness; casein phosphopeptide-amorphous calciumphosphate; enamel; chlorinated water

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หากผลการวิจัยพบว่าการใช้ซีพีพี-เอซีพีเฟสต์มีผลต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ ก็จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ในการป้องกันฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำต่อไปในอนาคต เพื่อเป็นทางเลือกในผู้ที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันสึกกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาว่ายน้ำ
2. ทราบวิธีการวัดความแข็งของเคลือบฟันธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการขัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. จากการศึกษานำร่องพบว่าการเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อให้ได้พื้นที่ระนาบสำหรับทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนกระทำได้ยาก แก้ไขปัญหาด้วยการใช้วัสดุป้ายชื่อบอกแรงกด (fit checker, GC Corp., Japan) วางบนผิวเคลือบฟัน แล้วปรับระดับของผิวเคลือบฟันบริเวณที่จะทดสอบให้ขนานกับแนวระนาบด้วยการใช้เครื่องมือกดชิ้นงานเพื่อทำให้ชิ้นงานขนาน (paralleling machine) รอจนวัสดุแข็งตัวเต็มที่ บริเวณที่วัสดุทดสอบรอยกดขาดได้พื้นที่อย่างน้อย 1 ตารางมิลลิเมตร จะเป็นผิวเคลือบฟันที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง
2. การวัดความแข็งของชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความแข็งในระดับนาโนในแต่ละชิ้นตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังนั้นในระหว่างการวัดความแข็งของชิ้นตัวอย่างชิ้นหนึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของชิ้นตัวอย่างชิ้นอื่นๆจนมีผลต่อความแข็งของเคลือบฟันได้ แก้ไขปัญหานี้ด้วยการแช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำปราศจากออกซิเจนระหว่างรอวัดความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

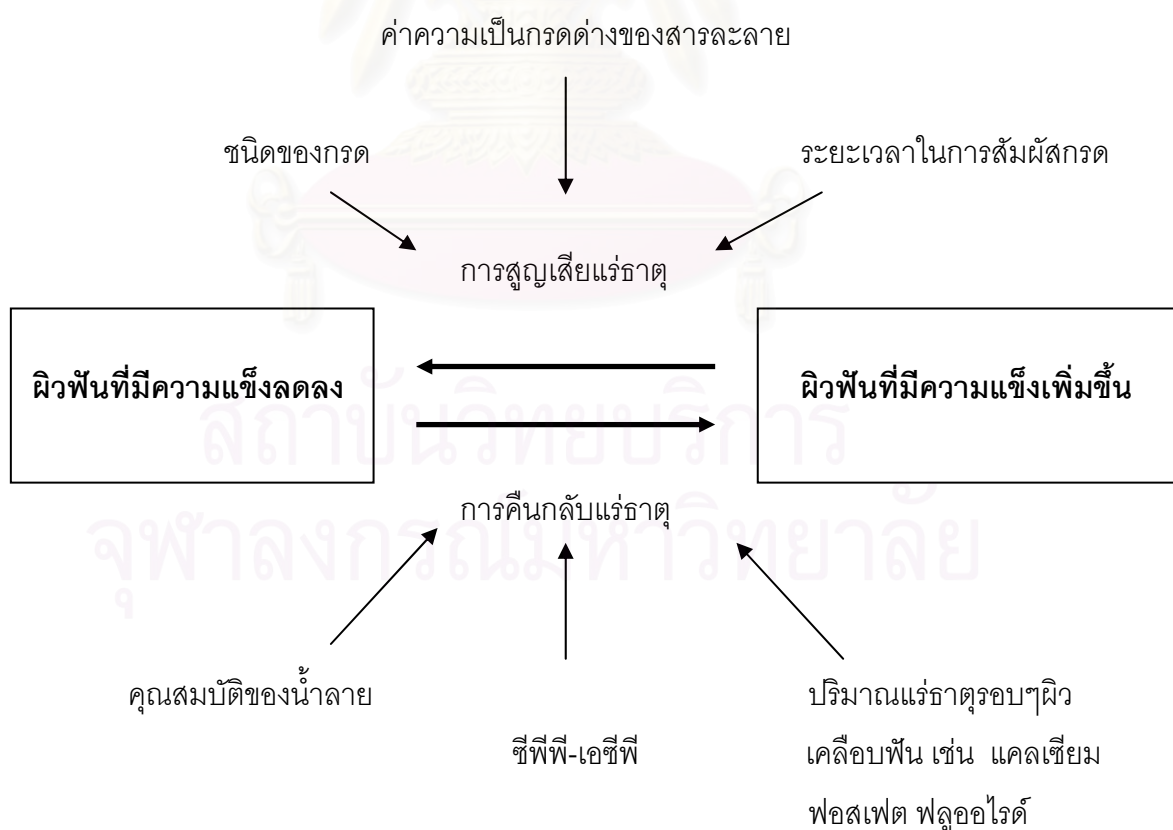
ปัญหาทางจริยธรรม

1. ไม่มีปัญหาทางจริยธรรมเนื่องจากเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณน้อยที่ถอนเพื่อเหตุผลในการจัดฟัน จึงไม่มีผลต่อแผนการรักษาทางทันตกรรมของผู้ป่วย และมีเอกสารการยินยอมเข้าร่วมการวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร
2. โครงร่างในการวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในการวิจัยของคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขที่ 15/2008

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

กรอบแนวความคิดของการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟันสึกกร่อนและกระบวนการเกิด

ฟันสึกกร่อน (dental erosion) หมายถึง การสูญเสียแร่ธาตุบริเวณผิวฟัน เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์ (22) มักมีสาเหตุมาจากกรดและ/หรือสารคีเลต (chelating agent) (23, 24)

กระบวนการเกิดฟันสึกกร่อนเริ่มต้นจากสารที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนสัมผัสกับเยื่อผิวที่ปกคลุมฟันจากนั้นจะค่อยๆแทรกซึมเข้าไปถึงผิวฟันอย่างต่อเนื่อง ประจุบวกจากกรดและ/หรือสารคีเลตจะทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของผิวเคลือบฟัน โดยเฉพาะแร่ธาตุที่อยู่ระหว่างปริซึม (interprismatic area) (12) โดยการสึกกร่อนจะหยุดลงเมื่อกรดได้ถูกกำจัดออกไป (25) การศึกษาโดยด้วยไมโครเรดิโอกราฟี (microradiography) เปรียบเทียบระหว่างฟันสึกกร่อนกับฟันสุขภาพพบว่าฟันสุขภาพพบการสูญเสียแร่ธาตุลึกเข้าไปในชั้นเนื้อฟันมากกว่าฟันสึกกร่อนถึง 10 เท่า และการสูญเสียแร่ธาตุจากฟันสึกกร่อนจะเกิดขึ้นระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular substance) ส่วนการสูญเสียแร่ธาตุจากฟันสุขภาพเกิดขึ้นในท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) (22)

การสึกกร่อนมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย ยิ่งสารละลายมีความเป็นกรดมากจะยิ่งทำให้เกิดการสลายตัวของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (calcium hydroxyapatite) ได้มาก นอกจากนี้อัตราการสลายตัวของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ยังขึ้นกับความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออนด้วย เพื่อให้คงสภาวะสมดุลดังสมการ (26)



สาเหตุของฟันสึกกร่อน

สาเหตุที่ทำให้ฟันสึกกร่อนแบ่งเป็น 2 สาเหตุหลักๆ คือ สาเหตุภายในร่างกาย และสาเหตุภายนอกในร่างกาย (8, 23, 24, 26, 27) สาเหตุภายในร่างกายเกิดจากการสัมผัสของกรดในกระเพาะอาหารกับผิวเคลือบฟันโดยตรง ซึ่งพบได้ในผู้ป่วยที่เป็นโรคทางระบบที่ส่งผลให้ผู้ป่วยมีการอาเจียนบ่อย เช่น โรคกระเพาะอาหาร ความเครียดที่ก่อให้เกิดการอาเจียน การอาเจียนจากผลข้างเคียงของยา ผู้ป่วยเป็นโรคกลัวอ้วน (anorexia nervosa) โรคหิวผิดปกติ (bulimia nervosa) ตลอดจนผู้ที่มีความผิดปกติของกล้ามเนื้อหูรูดระหว่างกระเพาะอาหารและหลอดอาหาร (gastroesophageal sphincter) ทำให้กล้ามเนื้อปิดไม่สนิท และผู้ป่วยพิษสุราเรื้อรัง เมื่อเกิดการสัมผัสของกรดในกระเพาะอาหารกับผิวเคลือบฟันขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเกิดการสึกกร่อนของฟันทางด้านลิ้น (lingual) และด้านบดเคี้ยว (occlusal) ส่วนสาเหตุภายนอกในร่างกาย ได้แก่ การบริโภคเครื่องดื่มหรืออาหารที่มีความเป็นกรดสูงโดยเฉพาะกรดซิตริก เช่น น้ำส้มคั้น น้ำอัดลม การอมหรือเคี้ยววิตามินซีปริมาณมากหรือบ่อยครั้ง การประกอบอาชีพในสภาวะแวดล้อมที่มีกรดหรือสัมผัสกรดเป็นเวลานาน เช่น ประกอบอาชีพในโรงงานผลิตแบตเตอรี่ นักชิมไวน์ นักกีฬาว่ายน้ำ เป็นต้น จึงนับว่าสาเหตุภายนอกที่ทำให้เกิดฟันสึกกร่อนเป็นผลมาจากพฤติกรรมและการบริโภคของแต่ละบุคคลและวิถีในการดำรงชีวิตในสังคม

อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราคาร์โบไฮเดรตและคุณสมบัติของน้ำลายมีส่วนสำคัญต่อการเกิดฟันสึกกร่อน โดยพบว่าน้ำลายของผู้ป่วยที่มีฟันสึกกร่อนมากจะมีคุณสมบัติในการปรับค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่าคนปกติอย่างชัดเจน น้ำลายมีส่วนประกอบของไบคาร์บอเนต (bicarbonate) ซึ่งมีแคลเซียมและฟอสเฟตอยู่ในสภาวะอิ่มตัวอย่างยิ่ง (supersaturated) เพื่อใช้ในกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟัน ช่วยเจือจางความเป็นกรดของสารละลายและปรับสมดุลความเป็นกรดต่าง (buffering capacity) ในช่องปาก โดยทำหน้าที่ด้วยการไทเทรตให้กลับสู่ความเป็นกลาง (titratable acidity) และโปรตีนในน้ำลายยังสร้างเป็นเยื่อผิวเคลือบบนฟัน ช่วยป้องกันการแพร่ผ่านของสารที่จะทำให้ฟันสึกกร่อน ดังนั้นน้ำลายจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลในการปกป้องผิวเคลือบฟันตามธรรมชาติต่อการสึกกร่อน (8, 12, 26)

ลักษณะของฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ

ลักษณะฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำพบมากและเป็นรุนแรงที่ฟันหน้าบนด้านริมฝีปาก (labial) รองลงมาเป็นฟันหน้าล่าง ฟันหลังบนและฟันหลังล่าง ในรายที่เป็นรุนแรงฟันหน้าจะมีการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันด้านริมฝีปาก (labial) และด้านประชิด (proximal) ทำให้เกิดความผิดปกติของรูปร่างฟัน มีการเปลี่ยนแปลงของสีฟัน เกิดช่องว่างระหว่างซี่ฟัน ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องความสวยงามกับผู้ที่เป็น ในฟันหลังจะเห็นขอบวัสดุลอยสูงเหนือผิวเคลือบฟัน นักกีฬาบางคนมีการสึกกร่อนของฟันหลังทั้งปากพร้อมด้วย ทำให้เกิดการสั้นลงของใบหน้า (short vertical dimension) และพบคราบสีจับที่ตัวฟัน (stain) เป็นสีน้ำตาลอมเขียวบริเวณคอฟันด้านริมฝีปาก นอกจากนี้อาการที่มีเหมือนกันทุกคนในนักกีฬาว่ายน้ำที่ฝึกซ้อมในสระว่ายน้ำแห่งนี้คือ เสียวฟัน โดยมีลักษณะการเสียวฟันที่แตกต่างกันไป ส่วนมากจะเสียวฟันหลังว่ายน้ำ บางคนเสียวฟันขณะรับประทานอาหารหรือแปรงฟัน เมื่อถูกน้ำเย็นจะเสียวฟันมากขึ้น บางครั้งมีอาการมากจนรับประทานอาหารไม่ได้ และก่อนที่จะมาเป็นนักกีฬาว่ายน้ำไม่เคยมีใครมีอาการเช่นนี้มาก่อน (4) นอกจากนี้ยังพบรายงานผู้ป่วยที่มีฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำเป็นประจำทุกวัน วันละ 35 นาที ระยะทาง 1500 เมตร เป็นเวลา 6 ปี พบการสูญเสียเคลือบฟันด้านริมฝีปาก ด้านเพดาน (palatal) และขอบด้านตัด (incisal edge) ของฟันหน้าบน ทำให้เห็นชั้นเนื้อฟันและเห็นขอบลักษณะเป็นแชมเฟอร์ (chamfer finishing line) (28)

การสึกกร่อนที่พบในนักกีฬาว่ายน้ำพบมากบริเวณด้านริมฝีปากของฟันหน้าบนเนื่องมาจากเป็นบริเวณที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง โดยเฉพาะการว่ายน้ำท่าควอดรา (crawl stroke) แรงปะทะของน้ำต่อฟันหน้าจะมีมาก ทั้งนี้เพราะการว่ายน้ำท่าควอดรานักกีฬาต้องหายใจทางปาก โดยเฉพาะในจังหวะที่หายใจเข้าซึ่งเป็นช่วงที่หันศีรษะไปด้านหลัง และปากอยู่ใต้น้ำเพียงเล็กน้อยทำให้น้ำในสระเข้าปากได้ในจังหวะนี้ (29)

พื่นสีกร่อนจากการว่ายน้ำและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

สระว่ายน้ำที่ไม่มีระบบการจัดการดูแลที่ดี เป็นผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระต่ำกว่ามาตรฐาน มีผลต่อสุขภาพร่างกายโดยทำให้ปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย คลื่นไส้ มีผลต่อระบบหายใจ ตลอดจนทำให้พื่นสีกร่อน (1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาว่ายน้ำที่ต้องฝึกซ้อมว่ายน้ำเป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงต่อสัปดาห์ เนื่องจากขณะว่ายน้ำผิวเคลือบฟันจะสัมผัสกับน้ำในสระคล้ายกับกรณีที่บริโภคเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง การศึกษาของ Gabai และคณะ (7) ได้ยืนยันว่าน้ำจากสระว่ายน้ำเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดพื่นสีกร่อนได้ โดยทดลองแช่ฟันมนุษย์ในน้ำจากสระว่ายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างตั้งแต่ 3.6 – 7.3 เป็นเวลา 60 นาทีและ 120 นาที พบว่าการสลายตัวของแคลเซียมจากผิวเคลือบฟันและเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันมีลักษณะเป็นรูปร่างซี่

ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลต่อพื่นสีกร่อน มีรายงานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่พบพื่นสีกร่อนรุนแรงในนักกีฬาว่ายน้ำที่ฝึกซ้อมในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างเพียง 2.7 เป็นเวลา 1 เดือน (2) การศึกษาในกรุงเทพมหานครเรื่องความชุกของการเกิดพื่นสีกร่อนในนักกีฬาว่ายน้ำจำนวน 102 คน จากสระว่ายน้ำ 8 แห่ง พบว่ามีความชุกของการสึกกร่อนสูงถึงร้อยละ 90.19 และผลการสำรวจน้ำในสระพบว่ามีสระว่ายน้ำถึง 4 แห่งที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 5.5 (5) ในประเทศไทยมีผลการสำรวจค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการสำรวจค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำในประเทศไทย

ผู้แต่ง, ปี พ.ศ.	จังหวัด	ช่วงของค่าความเป็นกรดต่าง	จำนวนสระที่สำรวจ
บุญนิตย์ ทวีบุรณ และคณะ, 2541 (5)	กรุงเทพมหานคร	5-7.9	8
จันทนา อึ้งชูศักดิ์ และคณะ, 2542 (6)	กรุงเทพมหานคร	3.6-8	6
เข็มพร กิจสหวงศ์, 2545 (9)	ขอนแก่น	3.0-7.72	11
สมชัย มโนพัฒนกุล และคณะ, 2549 (30)	กรุงเทพมหานคร	5.6-7.5	34

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่ามีสระว่ายน้ำจำนวนไม่น้อยที่มีค่าความเป็นกรดต่างไม่เหมาะสม ต่ำกว่าระดับข้อบังคับในการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำตามข้อบังคับของกรุงเทพมหานครว่าด้วยหลักเกณฑ์การประกอบการค้าซึ่งเป็นที่รังเกียจหรืออาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพประเภทการจัดตั้งสระว่ายน้ำ พ.ศ. 2530 ที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.2-8.4

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการฝึกซ้อมว่ายน้ำของนักกีฬาซึ่งน่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พบอัตราฟันสึกกร่อนแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา การศึกษาพบว่าดัชนีฟันสึกกร่อน (Tooth wear index) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนปีที่นักกีฬาซ้อมว่ายน้ำ ($r = 0.552, p < 0.01$) โดยพบนักกีฬาว่ายน้ำอายุ 17 ปี มีประสบการณ์การว่ายน้ำมาเป็นเวลา 14 ปี มีความถี่ของการฝึกซ้อมวันละ 2 ครั้งๆละ 1.5 ชั่วโมง มีคะแนนฟันสึกกร่อนสูงถึง 98 (ค่าเฉลี่ยคะแนนฟันสึกกร่อนของกลุ่มนักกีฬาเท่ากับ 7.72 ± 13.23) (5) สอดคล้องกับการศึกษาของวรชน ยุกตานนท์ (29) ที่พบว่านักกีฬาว่ายน้ำที่ฝึกว่ายน้ำมาเป็นระยะเวลานานมากกว่า 4-5 ปี จะมีฟันสึกกร่อนมากกว่าเด็กทั่วไปแม้จะว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างตามมาตรฐานก็ตาม และมีการศึกษาพบว่าผู้ว่ายน้ำในสระว่ายน้ำที่ใช้คลอรีนชนิดก๊าซตั้งแต่ 5 วันต่อสัปดาห์ขึ้นไป มีความเสี่ยงเป็น 3.8 เท่าของผู้ว่ายน้ำน้อยกว่า 5 วันต่อสัปดาห์ (2)

การศึกษาถึงสารเคมีที่ใช้ในสระว่ายน้ำที่มีผลทำให้ฟันสึกกร่อน พบว่าสระว่ายน้ำส่วนใหญ่จะใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค โดยนำมาใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น ชนิดก๊าซ ชนิดผง ชนิดน้ำ และสารประกอบที่เมื่อละลายน้ำแล้วให้คลอรีน ในกรุงเทพมหานครพบว่านิยมใช้สารประกอบคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคในรูปของกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกเป็นส่วนใหญ่ ทางการค้ามักเรียกว่า คลอรีนร้อยละ 90 เนื่องจากคลอรีนชนิดนี้หาซื้อง่าย ราคาถูก คงทนต่อแสงแดดมากกว่าชนิดอื่น และทำให้น้ำใสเพราะช่วยกำจัดสาหร่ายตะไคร่น้ำได้ดี (1) แต่มีการศึกษาพบว่าผู้ที่ว่ายน้ำในสระที่ใช้กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกมีโอกาสเกิดฟันสึกกร่อนได้มากกว่าผู้ที่ว่ายน้ำในสระที่ใช้สารคลอรีนตัวอื่น เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 2.78 เท่า และเมื่อพิจารณาสองปัจจัยร่วมกันพบว่านักกีฬาที่ว่ายน้ำในสระที่ใช้กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกมีความเสี่ยงในการเกิดฟันสึกกร่อนสูงสุดเป็น 13.1 เท่าของผู้ที่ไม่เป็นนักกีฬาและไม่ว่ายน้ำในสระที่ใช้กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก (6)

การสลายตัวของกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกเมื่อใส่ลงในน้ำ จะได้เป็นกรดไฮโปคลอรัส และกรดไฮโปคลอไรต์ รวมเรียกว่า คลอรีนอิสระ (free available chlorine) ซึ่งทำหน้าที่ในการฆ่าเชื้อในน้ำและในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลดลงด้วย (1)

ลักษณะของกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกเมื่อใส่ลงในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังนี้



ต่อมาจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของกรดไฮโปคลอรัส ได้เป็นไฮโดรเจนอิออนและไฮโปคลอไรต์



สุดท้ายจะเกิดการสลายตัวของไฮโปคลอไรต์ดังนี้



มาตรการในการป้องกันพิษกร่อนจากการว่ายน้ำ

ตามระเบียบข้อบังคับในการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำตามข้อบังคับของกรุงเทพมหานครว่าด้วยหลักเกณฑ์การประกอบการค้าซึ่งเป็นที่ยังเกี่ยวหรืออาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ประเภทการจัดตั้งสระว่ายน้ำ พ.ศ. 2530 กำหนดให้ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.2-8.4 และต้องทำการตรวจวัดทุกวัน ซึ่งเป็นบทบาทที่สำคัญของผู้ดูแลสระว่ายน้ำ ดังนั้นการให้ความรู้แก่ผู้ดูแลสระว่ายน้ำ นักกีฬา ผู้ว่ายน้ำทั่วไป และผู้ปกครองให้เข้าใจถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นจากการว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่าค่ามาตรฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็น มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการเติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาสระว่ายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำได้ (1) แต่จากผลการสำรวจตัวอย่างน้ำที่ได้จากสระว่ายน้ำในกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่พบว่าไม่อยู่ในช่วงที่เป็นมาตรฐานดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นมาตรการเฉพาะที่ในการป้องกันพิษกร่อนจากการว่ายน้ำจึงมีความจำเป็นต่อผู้ว่ายน้ำ แบ่งได้ 2 แนวทาง คือ

1. มาตรการป้องกันฟันสึกกร่อนด้วยตนเอง

หลีกเลี่ยงการว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่าค่ามาตรฐาน หากไม่ทราบหรือไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ควรมีการดูแลตนเองเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ ได้แก่ ไม่ควรแปรงฟันก่อนและหลังการว่ายน้ำทันที แต่ควรรอเป็นเวลาอย่างน้อย 60 นาทีหลังว่ายน้ำ จึงสามารถแปรงฟันได้เนื่องจากการแปรงฟันถือเป็นการกำจัดเยื่อผิวที่ปกคลุมฟันทำให้ฟันสึกกร่อนได้ง่าย หลังว่ายน้ำควรใช้ฟลูออไรด์เสริมที่มีฤทธิ์เป็นกลางในรูปแบบของน้ำยาบ้วนปาก หรือน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate solution) หรือน้ำยาบ้วนปากด้วยน้ำสะอาดทันที นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้เคี้ยวหมากฝรั่ง หรือเม็ดอมที่ปราศจากน้ำตาลเพื่อกระตุ้นการไหลของน้ำลาย ทำให้มีการเจือจางของกรดและปรับสมดุลความเป็นกรดต่างในช่องปาก ตลอดจนการรับประทานเนยแข็ง นม หรือโยเกิร์ตที่ปราศจากน้ำตาลเพื่อส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟัน แปรงฟันด้วยแปรงสีฟันขนนุ่ม ใช้ยาสีฟันที่มีผงขัดฟันน้อยและมีส่วนประกอบของฟลูออไรด์และไบคาร์บอเนต (8, 12, 24, 25, 31)

2. มาตรการป้องกันฟันสึกกร่อนโดยทันตแพทย์

ทันตแพทย์เป็นผู้มีบทบาทในการให้ข้อมูลและคำแนะนำแก่ผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุของฟันสึกกร่อนและแนะนำการดูแลสุขภาพในช่องปากอย่างเหมาะสม ประการสำคัญทันตแพทย์ควรประเมินรอยโรคได้ตั้งแต่วัยเริ่มแรกเพื่อหาทางป้องกันไม่ให้เกิดลุกลามและตรวจติดตามเป็นระยะโดยใช้แบบจำลองฟันหรือการถ่ายภาพเพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงของรอยโรค (8, 31) การศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าเปลือกฟันช่วยป้องกันฟันสึกกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (9) และมีการศึกษาในสถานการณ์จริงที่พบว่าการใช้เปลือกฟันเฉพาะบุคคลในขณะว่ายน้ำช่วยลดอาการเสียวฟันในนักกีฬาว่ายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามนักกีฬายังมีทัศนคติว่าเปลือกฟันอาจทำให้ว่ายน้ำได้ช้าลงจึงไม่ใส่ขณะลงแข่งขัน (10) และมีหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงช่วยป้องกันการเกิดฟันสึกกร่อนได้ในห้องปฏิบัติการ (11, 32, 33, 34) และได้แนะนำให้ทันตแพทย์ทำให้ผู้ป่วย 2-4 ครั้งต่อปี (8)

อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาที่กล่าวว่าแคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) ที่เกิดขึ้นจะช่วยป้องกันฟันสึกกร่อนได้เพียงชั่วคราว (partial protection) เนื่องจากชั้นของแคลเซียมฟลูออไรด์ที่สะสมบริเวณผิวเคลือบฟันจะคงตัวอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง ทำให้มีการสลายตัวได้เมื่อสัมผัสกรดจากเครื่องดื่มที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 3 (35) และการใช้ฟลูออไรด์มีข้อจำกัด คือ ผู้ป่วยไม่

สามารถทำได้เองที่บ้านและต้องระมัดระวังการกลืนฟลูออไรด์จนก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน (13) อีกทั้งนอกจากฟลูออไรด์แล้วยังมีแร่ธาตุอื่นๆที่มีความสำคัญต่อการคืนกลับแร่ธาตุ แคลเซียมและฟอสเฟตเป็นแร่ธาตุที่ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ทางทันตกรรมมากขึ้น โดยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ

เคซีน ฟอสโฟเปปไทด์-อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (ซีพีพี-เอซีพี)

ซีพีพี-เอซีพีประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน (36) คือ

1. เคซีน ฟอสโฟเปปไทด์ (ซีพีพี)

เคซีน ฟอสโฟเปปไทด์ (ซีพีพี) เป็นฟอสโฟเปปไทด์ที่ได้จากการใช้เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) ย่อยเคซีนในน้ำนมวัว และผลิตภัณฑ์จากนม โดยในน้ำนมวัวจะประกอบไปด้วยโปรตีนหลัก 2 ชนิด คือ เคซีนซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำมีอยู่ประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนมวัว และส่วนที่เหลือเป็นเวย์โปรตีน (Whey protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ เคซีนมักจะอยู่ในรูปของสารประกอบที่สลับซับซ้อนกับแคลเซียมฟอสเฟต โดยทำหน้าที่ช่วยให้แคลเซียมและฟอสเฟตมีความคงทน (stabilize) เคซีนมีหลายกลุ่ม ได้แก่ แอลฟา เบต้า และแคปป่า ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีความสามารถแตกต่างกันในการรวมกับแคลเซียมและฟอสเฟต

2. อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (เอซีพี)

อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (เอซีพี) เป็นสารประกอบของแคลเซียมและฟอสเฟตที่มีความสามารถในการละลายได้อย่างรวดเร็วในของเหลวของร่างกายและสามารถเปลี่ยนเป็นอะปาทิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเอซีพีกับสารประกอบของแคลเซียมและฟอสเฟตตัวอื่นๆ พบว่าในสภาวะช่องปาก (physiologic oral condition) เอซีพีมีอัตราการสร้างและอัตราการละลายมากที่สุด และสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลึกของไฮดรอกซีอะปาทิตได้อย่างรวดเร็ว

ปฏิกิริยาระหว่างซีพีพีกับแคลเซียมฟอสเฟต

ซีพีพีสามารถทำให้สารละลายแคลเซียมฟอสเฟตมีความคงทน โดยการศึกษารายงานของ Reynolds (36) พบว่าเมื่อใช้ซีพีพีที่เตรียมได้จาก เคซีน_{as1} (59-79) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมฟอสเฟต พบว่า เคซีน_{as1} (59-79) 1 โมเลกุล จะสามารถรวมตัวกับแคลเซียมได้สูงสุด 24 อะตอม และรวมกับฟอสเฟตได้สูงสุด 16 อะตอม ซึ่งจะทำให้ได้แคลเซียมฟอสเฟตในหลายรูปแบบ ได้แก่ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxy apatite) ออกตาแคลเซียมฟอสเฟต (Octacalciumphosphate) ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tricalciumphosphate) อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (Amorphous calciumphosphate) และไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (Dicalcium-phosphatedihydrate) การจะได้แคลเซียมฟอสเฟตในรูปแบบใดนั้นขึ้นกับความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสเฟต และสภาวะความเป็นกรดต่างของสารละลาย โดยแคลเซียมฟอสเฟตที่สามารถรวมกับเคซีน_{as1} (59-79) ได้อย่างอิสระโดยไม่ขึ้นกับสภาวะความเป็นกรดต่าง ได้แก่ เอซีพี

ในการทำปฏิกิริยาของซีพีพีกับแคลเซียมฟอสเฟต ปฏิกิริยาจะเกิดที่บริเวณกลุ่มของ ฟอสโฟเซรีล (-Ser(p)- Ser(p)- Ser(p)-Glu-Glu) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำปฏิกิริยากับเอซีพี โดยซีพีพีจะมีบทบาททำให้แคลเซียมฟอสเฟตมีความคงตัวในสารละลายช่วยป้องกันการตกผลึกของแคลเซียมฟอสเฟตตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวสะสมแร่ธาตุตามธรรมชาติ (biomineralization) โดยจะทำหน้าที่เป็นนิวเคลียเตอร์ (Nucleator) ช่วยส่งเสริมการโตของผลึก เนื่องจากซีพีพีเป็นโปรตีนที่มีความสามารถในการปรับรูปร่างให้เข้ากับพื้นผิวต่างๆได้ง่าย รวมทั้งในภาวะอสัณฐาน (amorphous phase) ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่มีรูปร่าง จึงทำให้ซีพีพีสามารถรวมตัวกับแคลเซียมฟอสเฟตไอออนได้ง่ายและรวมตัวเป็นกลุ่ม (cluster) ขึ้นมาเพื่อป้องกันการโตจนถึงระดับวิกฤติของนิวเคลียสที่จะทำให้เกิดการตกผลึกตามธรรมชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติของซีพีพี-เอซีพีต่อฟันสึกกร่อน

1. ส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟัน

ซีพีพี สามารถทำให้เอซีพีมีความคงทน และจำกัดเอซีพีให้อยู่ในแผ่นคราบจุลินทรีย์บริเวณผิวเคลือบฟัน ทำให้เป็นแหล่งสำรองขนาดใหญ่ของแคลเซียมและฟอสเฟต เมื่อค่าความเป็นกรดต่างลดต่ำกว่าค่าวิกฤติทำให้เอซีพีแยกออกจากกันเป็นแคลเซียมและฟอสเฟตอิสระ จึงช่วยรักษาสภาพความอึดตัวของแคลเซียมและฟอสเฟต เพื่อให้พร้อมที่จะเข้าสู่ผิวเคลือบฟัน เป็นการส่งเสริมกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุ

2. ลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน

ซีพีพี-เอซีพีจะช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุออกจากผิวเคลือบฟัน เนื่องจากการจับกันของซีพีพี-เอซีพีจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $CPP[Ca_3(PO_4)_{1.87}(HPO_4)_{0.2} \dots xH_2O]_8$ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งของแคลเซียมและฟอสเฟต รวมถึงเป็นแหล่งของแคลเซียมไฮโดรฟอสเฟต ($CaHPO_4^0$) เมื่อมีการเกิดขึ้นจะทำให้แคลเซียมอิสระ ฟอสเฟตอิสระ และแคลเซียมไฮโดรฟอสเฟตแยกตัวออกมาอยู่ในแผ่นคราบจุลินทรีย์และช่วยปรับค่าความเป็นกรดต่างในแผ่นคราบจุลินทรีย์ให้เพิ่มขึ้น (buffer plaque pH) ช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน

การศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีที่มีต่อฟันสึกกร่อน

ด้วยคุณสมบัติส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุและลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน ทำให้ซีพีพี-เอซีพีได้รับความสนใจนำมาใช้ทางทันตกรรม มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ สามารถช่วยให้ฟันที่สึกกร่อนแล้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ ดังเช่น การศึกษาของหทัยชนก สุขเกษม และคณะ (18) พบว่าความแข็งแรงของเคลือบฟันมนุษย์ที่ถูกทำให้สึกกร่อนด้วยเครื่องตีมีโคล่าเพิ่มขึ้นได้เมื่อใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tantbirojn และคณะ (19) ที่พบว่าการใช้ ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ช่วยให้ฟันของสัตว์ทดลองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นหลังจากสึกกร่อนด้วยเครื่องตีมีโคล่า และยังมีการศึกษาพบว่า การเติมซีพีพี-เอซีพีลงในเครื่องตีมีโคล่าสำหรับนักกีฬาช่วยลดความสามารถในการทำให้เกิดการสึกกร่อน (erosive potential) ของเครื่องตีมีโคล่าได้ (17) และเมื่อเร็วๆ นี้มีการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า การใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ (Tooth Mousse®) ช่วยป้องกันฟันสึกกร่อนจากการแช่ในสารละลายกรดซिटริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ได้ (37)

ตารางที่ 2 สรุปการศึกษามวลของซีพีพี-เอซีพีที่มีต่อฟันสึกกร่อน

ผู้วิจัย, ปี ค.ศ.	สารที่ทำให้เกิดฟันสึกกร่อน	ตัวอย่างที่นำมาศึกษา	จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม	สารที่ใช้ในการศึกษา	ผลการศึกษา	การวัดผล
Ramalingam และคณะ, 2005 (17)	เครื่องดื่มน้ำสำหรับนักกีฬา	ฟันกรามแท้ซี่ที่ 3	5	เติม ซีพีพี-เอซีพี ลงในเครื่องดื่มน้ำสำหรับนักกีฬา	การเติมซีพีพี-เอซีพีลงในเครื่องดื่มน้ำสำหรับนักกีฬาช่วยทำให้ความสามารถในการทำให้ฟันสึกกร่อนลดลงได้โดยไม่มีผลต่อรสชาติของเครื่องดื่มน้ำ	Profilometer
หทัยชนก และคณะ, 2006 (18)	เครื่องดื่มน้ำโคล่า	ฟันกรามน้อย	10	ซีพีพี-เอซีพีเพสต์	ซีพีพี-เอซีพีเพสต์มีผลทำให้เคลือบฟันที่ถูกสึกกร่อนด้วยเครื่องดื่มน้ำโคล่ามีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ	Microhardness tester
Yamaguchi และคณะ, 2006 (16)	0.1 M lactic acid	ฟันวัว	6	ซีพีพี-เอซีพีเพสต์	CPP-ACP มีผลให้มีการคืนกลับของแร่ธาตุเข้าสู่ตัวฟันเพิ่มขึ้น	Ultrasonic pulse method
Rees และคณะ, 2007 (37)	0.2% citric acid	ฟันกรามแท้ซี่ที่ 3	10	Pronamel and Tooth mousse	การใช้ Pronamel และ Tooth mousse มีผลป้องกันการสึกกร่อน	Profilometer
Tantbirojn และคณะ, 2008 (19)	เครื่องดื่มน้ำโคล่า	ฟันวัว	16	ซีพีพี-เอซีพีเพสต์	การใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ช่วยให้ผิวเคลือบฟันมีความแข็งเพิ่มขึ้นภายหลังกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุด้วยน้ำลาย เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	Knoop microhardness measurement

หมายเหตุ : ทุกการศึกษามีการขัดผิวเคลือบฟันเพื่อให้ได้พื้นที่ระนาบในการทดสอบ

ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีซีพีพี-เอซีพีเป็นส่วนประกอบ

เนื่องจากคุณสมบัติในการส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ตัวฟันและลดการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันดังกล่าว รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากธรรมชาติ จึงพบว่าซีพีพี-เอซีพีมีความเหมาะสมที่จะนำมาเติมลงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ยาสีฟัน หมากฝรั่ง น้ำยาบ้วนปาก สเปรย์ และครีมทาเฉพาะที่ โดยซีพีพี-เอซีพี มีชื่อทางการค้าคือ Recaldent® และ Phoscal®

Recaldent® ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา (Food and drug administration: FDA) ในปี ค.ศ.1999 ว่ามีความปลอดภัย ผลิตภัณฑ์ที่มี Recaldent® เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ หมากฝรั่ง “Trident” ซึ่งเป็นหมากฝรั่งที่ปราศจากน้ำตาล ช่วยป้องกันฟันผุ และครีมทาเฉพาะที่ ได้แก่ GC Tooth Mousse โดยบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้เพื่อป้องกันฟันผุและฟันสึกกร่อน

Phoscal® เป็นซีพีพี-เอซีพีที่ได้จากนมเช่นเดียวกับ Recaldent® โดยผลิตภัณฑ์ที่มี Phoscal® เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ Dentacal Mouth Moistener ซึ่งเป็นสเปรย์ที่ให้ความชุ่มชื้นและหล่อลื่นในช่องปาก ใช้สำหรับผู้ป่วยที่ปากแห้ง (xerostomia) และ Topacal C-5 ซึ่งเป็นครีมทาเฉพาะที่ใช้ในการป้องกันฟันผุและฟันสึกกร่อน โดยเฉพาะผู้ที่มีฟันผุทั้งปาก (rampant caries)

ซีพีพี-เอซีพีเพสต์

ซีพีพี-เอซีพีเพสต์เป็นครีมเฉพาะที่มีน้ำเป็นพื้นฐานและมีส่วนประกอบที่ปราศจากน้ำตาล โดยผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในการป้องกันฟันผุ ป้องกันฟันสึกกร่อน ใช้รักษาอาการเสียวฟัน ใช้ภายหลังการฟอกสีฟัน ขูดหินปูนและเกลารากฟัน และใช้ร่วมกับฟลูออไรด์ในการป้องกันฟันผุ ไม่แนะนำให้ใช้ในผู้ที่แพ้นมวัว เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนที่ได้จากนมวัว ชื่อทางการค้า คือ Tooth Mousse®

ส่วนประกอบของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ ได้แก่ pure water, glycerol, casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate, D-sorbitol, silicon dioxide, xylitol, phosphoric acid, guar gum, zinc oxide, sodium saccharin, ethyl p-hydroxybenzoate, magnesium oxide, butyl p-hydroxybenzoate, propyl p-hydroxybenzoate



ภาพที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ซีพีพี-เอสซีพีเพสท์

วิธีการใช้ซีพีพี-เอสซีพีเพสท์

- กรณีใช้ร่วมกับถาดพิมพ์ปากเฉพาะบุคคล หลังจากผู้ป่วยใช้ถาดพิมพ์ปากในการฟอกสีฟันเสร็จเรียบร้อยแล้ว
 1. ล้างถาดพิมพ์ปากเฉพาะบุคคลให้สะอาดด้วยน้ำ
 2. บีบซีพีพี-เอสซีพีเพสท์ลงในถาดพิมพ์ปากทั้งส่วนบนและล่าง
 3. ใส่ถาดพิมพ์ปากให้เข้าที่ทั้งฟันบนและล่างเป็นเวลา 3 นาที
 4. นำถาดพิมพ์ปากออกจากปาก
 5. แนะนำให้ผู้ป่วยใช้ลีนเดิลซีพีพี-เอสซีพีเพสท์ให้ทั่วฟันทั้งปากให้นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (1-2 นาที) หลีกเลี่ยงไม่ให้คายออกหรือบ้วนปาก
 6. แนะนำไม่รับประทานอาหารและดื่มน้ำหลังจากทาสีพีพี-เอสซีพีเพสท์เป็นเวลา 30 นาที
- กรณีไม่ได้ใช้ร่วมกับถาดพิมพ์ปากเฉพาะบุคคล
 1. เช็ดฟันให้แห้ง
 2. ทาสีพีพี-เอสซีพีเพสท์ให้ทั่วผิวเคลือบฟัน
 3. ให้ซีพีพี-เอสซีพีเพสท์สัมผัสกับฟันอย่างน้อย 3 นาที
 4. แนะนำให้ผู้ป่วยใช้ลีนเดิลซีพีพี-เอสซีพีเพสท์ให้ทั่วฟันทั้งปากให้นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (1-2 นาที) หลีกเลี่ยงไม่ให้คายออกหรือบ้วนปาก
 5. แนะนำไม่รับประทานอาหารและดื่มน้ำหลังจากทาสีพีพี-เอสซีพีเพสท์เป็นเวลา 30 นาที

ความสัมพันธ์ระหว่างฟันสึกกร่อนกับการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเคลือบฟัน

จากกระบวนการสึกกร่อนที่ทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟัน เมื่อเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ความแข็งของเคลือบฟันลดลง จึงเป็นที่มาของการวิจัยเกี่ยวกับฟันสึกกร่อนในห้องปฏิบัติการ โดยนำฟันมาแช่สารที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนแล้วประเมินผลจากความแข็งของเคลือบฟันที่เปลี่ยนแปลงไป มีการศึกษาที่นำฟันมาแช่ในเครื่องดื่มต่างๆ โดยเฉพาะน้ำอัดลม (carbonated soft drinks) เครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา และน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำมะนาว น้ำส้ม น้ำแอปเปิ้ล (20, 38, 39, 40) เครื่องดื่มเหล่านี้มีค่าความเป็นกรดต่างระหว่าง 2.2-3.7 และผลการศึกษาพบว่าความแข็งของเคลือบฟันจะลดลงภายในระยะเวลาแตกต่างกัน ตั้งแต่ 10-20 นาที ในขณะที่การศึกษาของ Barbour และคณะ (41) ทำการแช่ฟันในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีค่าความเป็นกรดต่างตั้งแต่ 2.3-6.3 และพบว่าความแข็งของเคลือบฟันลดลงหลังแช่ในสารละลายเพียง 2 นาที โดยประเมินผลจากเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทคนิคการวัดฟันสึกกร่อนในห้องปฏิบัติการ

ฟันสึกกร่อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ มีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานจึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงทางคลินิกและการวัดฟันสึกกร่อนทางคลินิกอย่างแม่นยำทำได้ยาก นักวิจัยจึงมีความพยายามในการหาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดฟันสึกกร่อนเชิงปริมาณทางห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น และช่วยให้ประเมินฟันสึกกร่อนได้ในระยะเริ่มแรก (42) นอกจากนี้เครื่องมือต่างๆยังคงมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถวัดการสึกกร่อนของฟันได้อย่างถูกต้องที่สุด การจะเลือกวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ค่าใช้จ่าย และความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือ เทคนิคการวัดการสึกกร่อนที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. การวัดความแข็งผิว (surface hardness) เนื่องจากกระบวนการเกิดฟันสึกกร่อนทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุอย่างต่อเนื่องเป็นผลให้ผิวฟันมีความแข็งลดลง การวัดความแข็งผิวที่นิยมใช้ในการวัดการสึกกร่อนมากที่สุด คือ การวัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค (microhardness tester) และต่อมามีการพัฒนาเป็นเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนที่วัดได้ค่าที่ละเอียดและแม่นยำมากขึ้น
2. เครื่องวัดความขรุขระผิว (surface roughness tester) ใช้ในการวัดความขรุขระของผิวเคลือบฟัน เป็นวิธีการที่ทำงานง่าย และรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณความลึกและปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปได้ด้วย ใช้ในการวัดการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นในระดับที่ลึกกว่าการวัดความแข็งผิว ปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นเครื่องวัดความขรุขระผิวโดยใช้เลเซอร์ (laser profilometry) ที่ไม่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวของชิ้นงาน
3. ไมโครเรดิโอกราฟี (microradiograph) เป็นการวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ โดยบันทึกรังสีที่แพร่ผ่านผิวเคลือบฟันในรูปโฟโตกราฟฟิกเพลท (photographic plate) หรือโฟโตเคาน์เตอร์ (photo counter) สามารถคำนวณปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปและความแข็งของผิวเคลือบฟัน ส่วนใหญ่ใช้ในการศึกษาโรคฟันผุ
4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (chemical analysis) เป็นการคำนวณความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสเฟตไอออนที่ละลายออกมาในสารละลาย และยังสามารถคำนวณอัตราการละลายของแร่ธาตุได้อีกด้วย มีประโยชน์ในการวัดการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันที่แท้จริง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องขัดผิวเคลือบฟัน
5. การบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscopy techniques) เพื่อบันทึกภาพผิวเคลือบฟันที่เปลี่ยนแปลงไป มักใช้เป็นเครื่องมือเสริมร่วมกับเครื่องมือหลักชนิดอื่น

การทดสอบความแข็งในระดับนาโน (Nanoindentation or Ultra-micro indentation system)

การทดสอบความแข็งโดยการกดมีหลักการ คือ ใช้หัวกดมากับบริเวณพื้นผิวที่จะทดสอบจนกระทั่งถึงแรงที่กำหนดไว้ จากนั้นจะคำนวณแรงกดต่อพื้นผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นหลังจากหัวกดกดเรียบร้อยแล้ว (43) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบความแข็งแบบมาโคร (macrohardness tests) จะใช้แรงกดมากกว่า 1 กิโลกรัม และการทดสอบความแข็งแบบไมโคร (microhardness tests) จะใช้แรงกดน้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งนิยมใช้ทางทันตกรรมมากกว่า การทดสอบความแข็งแบบไมโครมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมที่สุดมีสองวิธี คือ การทดสอบความแข็งแบบนูป (Knoop hardness test) และแบบวิกเกอร์ส (Vickers hardness test)

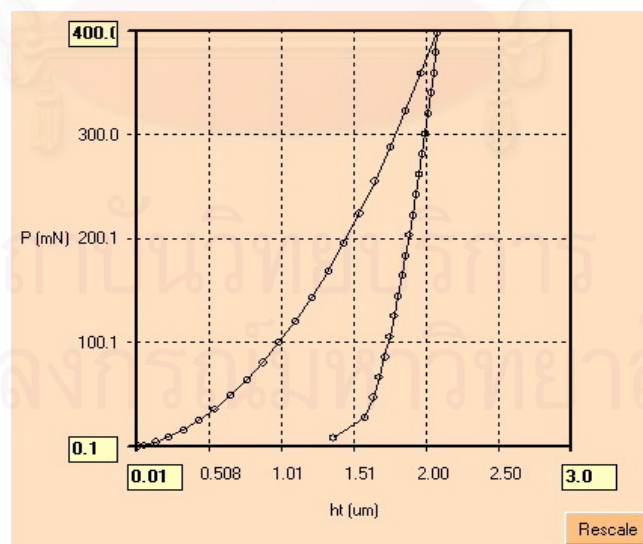
ทั้งนี้การทดสอบความแข็งแบบนูปและแบบวิกเกอร์สเป็นการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวร (permanent deformation) ส่งผลให้ค่าความแข็งที่ได้เป็นค่าที่มากกว่าความเป็นจริง (overestimate) เนื่องจากเป็นการวัดจากรอยกดหลังจากวัสดุมีการคืนสภาพยืดหยุ่นเรียบร้อยแล้ว (elastic recovery) และประเมินขนาดของรอยกดด้วยสายตา ทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดได้ นักวิจัยจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ทดสอบความแข็งในระดับนาโนขึ้นมา ซึ่งใช้แรงกดน้อยกว่าการทดสอบความแข็งแบบไมโครประมาณ 10-100 เท่า และเป็นการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวรและการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) โดยการวัดผลไม่ได้ประเมินจากการวัดขนาดของรอยกดโดยใช้สายตาเหมือนการทดสอบความแข็งแบบไมโคร ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น (43)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

นอกจากนี้การทดสอบความแข็งในระดับนาโนยังสามารถกำหนดแรงที่เกิดและวัดความลึกของหัวกดที่เคลื่อนลงไปในพื้นที่ที่ต้องการทดสอบทั้งในขณะโหลด (load) และอันโหลด (unload) โดยการแปลผลข้อมูลจะกระทำผ่านเครื่องเดบเซนซึ่งอินเดนเตชัน (depth-sensing indentation instruments) อย่างไรก็ตามเครื่องมือชนิดนี้ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของระบบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นระดับนาโนเมตร ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิและการสั่นสะเทือนจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือประเภทนี้

สำหรับการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนนั้น หัวกดจะค่อยๆกดจนถึงแรงสูงสุดที่กำหนดและเครื่องจะทำการวัดความลึกของหัวกดที่เคลื่อนลงไปในพื้นที่ที่ต้องการทดสอบ และสร้างเป็นกราฟระหว่างแรงที่ใช้กดกับความลึกของรอยกด ได้เป็นกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ (load-displacement curve) ดังภาพที่ 3 กราฟจะเริ่มต้นจากจุดที่หัวกดสัมผัสพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ จากนั้นแรงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเป็นช่วงที่หัวกดเข้าไปในเนื้อของพื้นผิวที่ต้องการทดสอบจนกระทั่งถึงแรงสูงสุดที่กำหนด (loading segment) และแรงจะค่อยๆลดลงทำให้หัวกดถูกยกขึ้นมาจากเนื้อของวัสดุ (unloading segment)



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์

เครื่องมือจะประมวลผลออกมาเป็นค่าความแข็งของวัสดุ มีหน่วยเป็น จิกะปาสคาล (GPa) และค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุ (elastic modulus or Young's modulus) มีหน่วยเป็น จิกะปาสคาล ทำให้เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนสามารถวัดค่าความแข็งได้อย่างถูกต้อง และได้มีรายงานการนำมาใช้มากขึ้น (43, 44, 45, 46, 47) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ คือ ผิวเคลือบพื้นจะต้องขัดให้เรียบและขนาน (48)

ค่าความแข็ง (H) ของวัสดุ คือ แรงกด (contact pressure) ภายใต้อัตราพื้นที่ของรอยกด

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

โดย $A =$ พื้นที่ของรอยกด ซึ่ง $A = k (h_p)^2$

k คือ ค่าคงที่จีโอเมทริก (Geometric constant) ของหัวกด

สำหรับหัวกดเบอร์โกวิช (Berkovich) มีค่าเท่ากับ 24.5 (45)

h_p คือ ความลึกของรอยกดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร

ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของพื้นผิว ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$\nu =$ ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) ของผิวที่ทดสอบ

(สำหรับผิวเคลือบพื้น = 0.33) (48)

$E =$ ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของผิวที่ทดสอบ

$\nu_i =$ ค่าอัตราส่วนปัวซองของหัวกด

$E_i =$ ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของหัวกด

โดยค่า E^* พิจารณาจากอัตราการคืนตัวของพื้นผิว (recovery rate) ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุดในสภาวะอันโหลด

$$E^* = \frac{[dF / dhe]_{\text{fmx}}}{2A}$$

โดยค่า $[dF / dhe]_{\text{fmx}} = S$ คือ ความชันของ regression line ณ ตำแหน่งแรงกดสูงสุดของเส้นโค้งอันโหลดดึง (unloading-curve)

ค่า $A =$ พื้นที่ผิวสัมผัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรที่ศึกษา (Study population)

ฟันกรามน้อยของมนุษย์ที่ถอนเพื่อเหตุผลในการจัดฟัน

ตัวอย่าง (Study sample)

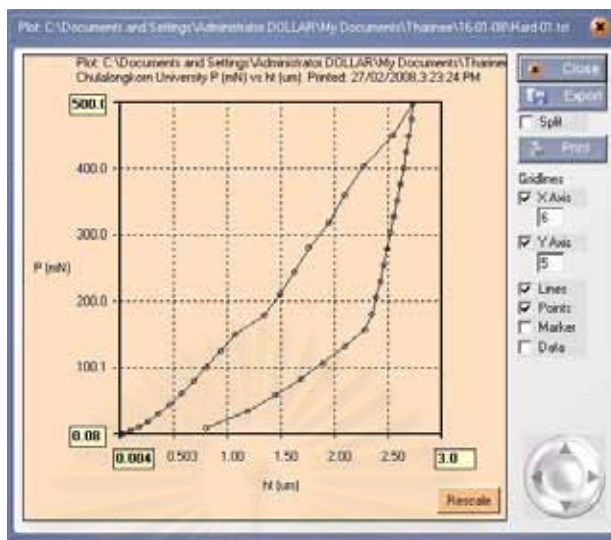
ฟันกรามน้อยที่ผิวเคลือบฟันปราศจากรอยผุ รอยขูด รอยแตกร้าว หรือลักษณะที่ผิดปกติต่างๆ ได้แก่ ฟันที่มีจุดขาวคล้ายชอล์ก ฟันเปลี่ยนสี ฟันตกกระ ฟันที่มีการเจริญพร้อมของผิวเคลือบฟัน

เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion criteria)

ขึ้นตัวอย่างที่พิจารณาด้วยตาเปล่าพบว่าผิวเคลือบฟันด้านแก้มมีลักษณะปกติและเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20 เท่าสามารถปรับความคมชัดหาพื้นที่ระนาบได้ 1 ตารางมิลลิเมตร ในบริเวณส่วนกลางของฟัน

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

1. ภายหลังการตรวจขึ้นตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20 เท่าแล้วไม่สามารถหาพื้นที่ระนาบ 1 ตารางมิลลิเมตร บริเวณส่วนกลางของฟันได้ จะคัดขึ้นตัวอย่างนั้นออกจากการทดลอง
2. ขึ้นตัวอย่างที่เมื่อทดสอบความแข็งแล้วพบว่ากราฟไหลด-ดีสเพลสเมนต์มีลักษณะผิดปกติเกินร้อยละ 20 ของรอยกัดทั้งหมด จะคัดขึ้นตัวอย่างนั้นออกจากการทดลอง เช่น กราฟมีส่วนโค้งที่ไม่ต่อเนื่อง มีการหักเป็นมุม ดังภาพที่ 4 ซึ่งจะสัมพันธ์กับรอยกัดที่ไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า เนื่องจากหักกดลงบนพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือมีฟองอากาศ



ภาพที่ 4 แสดงกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ที่มีลักษณะผิดปกติ

ขนาดตัวอย่าง (Sample size)

คำนวณขนาดตัวอย่างจากการศึกษาของ Tantbiroj และคณะ (19) ที่ศึกษาโดยใช้ซีพีพี-เอซีพีพีเพสต์ทาผิวเคลือบฟันที่ทำให้สีกร่อนด้วยเครื่องตีโคล่าแล้วพบว่าความแข็งของเคลือบฟันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความแข็งของเคลือบฟันที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากทำให้ฟันสีกร่อนด้วยเครื่องตีโคล่า และส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงของกลุ่มที่ทาซีพีพี-เอซีพีพีเท่ากับ 31.8 ± 8.0 KHN และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 2.9 ± 16.3 KHN

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (Type I error, α) เท่ากับ 0.05 และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (Type II error, β) เท่ากับ 0.05 จากนั้นนำมาคำนวณขนาดตัวอย่าง ตามสูตรการหาขนาดตัวอย่างในการศึกษา 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (49)

$$\text{จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม} = \frac{2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{D^2}$$

เมื่อ $Z =$ ค่าวิกฤตซึ่งแบ่งพื้นที่ใต้โค้งของการกระจายออกเป็นเขตที่ยอมรับ (acceptance region) และเขตที่ไม่ยอมรับ (rejection region) สมมติฐาน

$$Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2} = 1.96$$

$$Z_{\beta} = Z_{0.05} = 1.96$$

$$\sigma^2 = \text{ความแปรปรวนรวม} = \frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2} \quad (\text{กรณี } n_1 = n_2)$$

$$D = \text{ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย}$$

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม} &= \frac{2(1.96+1.96)^2((8^2+16.3^2)/2)}{(31.8-2.9)^2} \\ &= \frac{30.7328 (164.845)}{835.21} \\ &= 6.06 \end{aligned}$$

จากการคำนวณได้จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่มไม่ต่ำกว่า 6 ตัวอย่าง

สิ่งแทรกแซง (Intervention)

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสท์ที่มีต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ในห้องปฏิบัติการ โดยนำซีพีพี-เอซีพีเพสท์ ชื่อการค้า Tooth Mousse® ผลิตโดยบริษัท GC Corp. Japan Lot : 060508v Exp : 2009-01 มาใช้เป็นสิ่งแทรกแซง

แบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้สิ่งแทรกแซงก่อนสัมผัสน้ำคลอรีนดังนี้

1. กลุ่มควบคุม คือ กลุ่มที่ไม่ได้ทำสารใดๆ
2. กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มที่ทำซีพีพี-เอซีพีเพสท์บนผิวเคลือบฟัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย (Material and instrument)

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 เครื่องตัดพื้นความเร็วต่ำ (Low Speed Cutting Machine; ISOMET™1000, Buehler, USA)
- 1.2 เครื่องทดสอบทางกลระดับนาโน (Nano-mechanical instrument; UMIS II CRISO, Australia)
- 1.3 หัวกดเพชรชนิดเบอริโกวิช (Berkovich) (Synton BA, Switzerland)
- 1.4 เครื่องมีอกัดชิ้นงานเพื่อทำให้ชิ้นงานขนาน (paralleling machine)
- 1.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator; Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand) อุณหภูมิ 8-100 องศาเซลเซียส
- 1.6 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter; GP353, EDT, England)
- 1.7 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ระบบดิจิทัล (Digital balance; FA-200, A&D, Japan) น้ำหนักสูงสุด 210 กรัม ความละเอียด 0.001 กรัม
- 1.8 ตู้เย็นเก็บสารตัวอย่าง (Sandenintercool, Thailand) อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส
- 1.9 แบบหล่อซิลิโคนสำหรับเทเรซินส่วนฐาน
- 1.10 ภาชนะสำหรับผสมเรซิน
- 1.11 พู่กันขนาดเล็กสำหรับทาซีพีพี-เอซีพีเฟสท์
- 1.12 กระดาษซับ
- 1.13 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple; รุ่น 407401, EXTECH, USA) อุณหภูมิ -50-1230 องศาเซลเซียส

2. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 สารละลายไทมอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
- 2.2 ผงคลอรีนร้อยละ 90
- 2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 2.4 น้ำลายเทียม (ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) มีส่วนประกอบ ดังนี้

-	โปแตสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride BP)	0.75	กรัม
-	แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride BP)	0.070	กรัม
-	แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride BP)	0.199	กรัม
-	ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Dipotassium hydrogen phosphate USP)	0.965	กรัม
-	โปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium hydrogen phosphate USP)	0.439	กรัม
-	โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose BP)	7.8	กรัม
-	โซเดียมเบนโซเอต (Sodium benzoate)	2.4	กรัม

 และเติมน้ำปราศจากอิออนจนมีปริมาตรเท่ากับ 1200 ลิตร
- 2.5 ซีฟี่พี-เอซีพีเพสต์ (Tooth Mousse, GC Corp.,Japan)
- 2.6 วัสดุป้ายซี่บ็อกแรงกด (fit checker, GC Corp., Japan)
- 2.7 น้ำปราศจากอิออน (ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
- 2.8 เรซินหล่อใส่

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การคัดเลือกตัวอย่าง

- 1.1 นำพืชน้ำจืดในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และเก็บมานานไม่เกิน 1 เดือน มาล้างและใช้แปรงสีฟันแปรงที่ผิวเคลือบฟันเบาๆ 5 ครั้ง
- 1.2 เลือกฟันที่พบว่าผิวเคลือบฟันมีลักษณะตามข้อกำหนดเบื้องต้น
- 1.3 เก็บฟันในน้ำปราศจากอิออนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

- 2.1 เตรียมแบบหล่อซิลิโคน ดังภาพที่ 5 สำหรับเป็นแบบในการเทเรซินหล่อใส่ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร ที่มีร่องสี่เหลี่ยมขนาดความ กว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร ลึก 3 มิลลิเมตร ตรงกลางเพื่อเป็นที่อยู่ของชิ้น ฟัน รอให้เรซินหล่อแข็งตัว 10 ชั่วโมงจะได้เรซินทรงกระบอก ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 แสดงแบบหล่อซิลิโคนสำหรับเป็นแบบในการเทเรซินทรงกระบอก



ภาพที่ 6 แสดงเรซินทรงกระบอกที่มีร่องสี่เหลี่ยมตรงกลางสำหรับฝังชิ้นฟัน

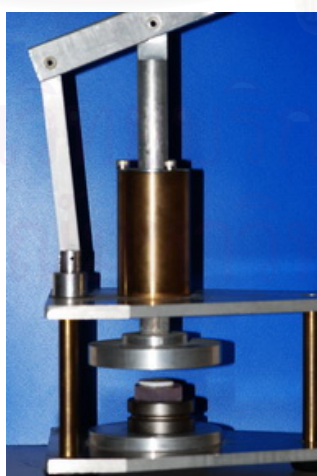
- 2.2 นำฟันมาตัดส่วนรากออกและแบ่งฟันอีกครั้งในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesio-distal) ด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำได้ฟันสองส่วน คือ ด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้น (lingual) เลือกเฉพาะเคลือบฟันด้านใกล้แก้มมาทดสอบ
- 2.3 ผสมเรซินเพื่อฝังชิ้นฟันบนเรซินทรงกระบอกที่เตรียมไว้ โดยวางชิ้นฟันบนร่องสี่เหลี่ยมและให้เคลือบฟันด้านใกล้แก้มโผล่เหนือเรซินประมาณ 1 มิลลิเมตร
- 2.4 นำชิ้นตัวอย่างมายึดติดกับฐานโลหะที่ใช้กับเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน โดยให้ความร้อนกับฐานโลหะที่มีซี่ฝังวางอยู่บนกระแทงซี่ฝังละลาย นำชิ้นตัวอย่างวางบนซี่ฝังดังกล่าวและนำเข้าเครื่องมือกดชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานขนาน เพื่อให้บริเวณส่วนกลางของฟันขนานกับฐานโลหะ รอจนชิ้นงานเย็นตัวลงใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ได้ชิ้นตัวอย่างที่ยึดติดกับฐานโลหะ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงชิ้นตัวอย่างที่ยึดติดกับฐานโลหะ

3. วิธีหาพื้นที่ระนาบบนผิวเคลือบฟันสำหรับทดสอบความแข็ง

- 3.1 กำหนดขอบเขตที่จะทดสอบความแข็งให้อยู่ในบริเวณส่วนกลางของเคลือบฟันด้านแก้ม ผสมวัสดุป้ายชี้บอกแรงกดแล้ววางบนผิวเคลือบฟัน ปรับระดับของผิวเคลือบฟันบริเวณที่จะทดสอบให้ขนานกับแนวระนาบด้วยการใช้เครื่องมือกดขึ้นงานเพื่อทำให้ชิ้นงานขนาน ดังภาพที่ 8 รอจนวัสดุป้ายชี้บอกแรงกดแข็งตัวเต็มที่ บริเวณที่วัสดุขาดได้พื้นที่อย่างน้อย 1 ตารางมิลลิเมตร จะเป็นผิวเคลือบฟันที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 แสดงการหาพื้นที่ระนาบบนผิวเคลือบฟันที่จะทดสอบ



ภาพที่ 9 แสดงพื้นที่ระนาบบริเวณส่วนกลางเคลือบฟัน

- 3.2 ล้างผิวเคลือบฟันด้วยน้ำปราศจากไอออนและเช็ดให้สะอาดด้วยกระดาษซับ
- 3.3 ตรวจผิวเคลือบฟันอีกครั้งด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 200 เท่า โดยเมื่อเลื่อนชิ้นงานผ่านกล้องจุลทรรศน์แล้วสามารถปรับความคมชัดของภาพบริเวณส่วนกลางของเคลือบฟันได้พื้นที่อย่างน้อย 1 ตารางมิลลิเมตร มิฉะนั้นจะแสดงว่าพื้นที่นั้นไม่ได้ระนาบและต้องคัดชิ้นตัวอย่างนั้นออกจากการทดลอง

4. การทดสอบความแข็งก่อนการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

- 4.1 นำชิ้นตัวอย่างที่ยึดติดกับฐานโลหะมาวางบนแท่นทดสอบของเครื่อง
- 4.2 ตำแหน่งในการกดอยู่ในพื้นที่ระนาบ 1 ตารางมิลลิเมตรส่วนกลางฟัน รูปแบบการกดกำหนดให้มี 9 รอยกด (3x3) ให้แต่ละรอยกดมีระยะเว้น (interval) 50 ไมโครเมตรทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง
- 4.3 กำหนดให้หัวกดเคลื่อนลงสัมผัสบนผิวของชิ้นตัวอย่างเริ่มที่แรงสัมผัส (contact force) 0.1 มิลลินิวตัน เพื่อให้หัวกดรู้ว่าสัมผัสกับผิววัสดุแล้วและพร้อมที่จะทำงานต่อไป ให้แรงตั้งตั้งแต่ 0 ถึง 400 มิลลินิวตัน และกำหนดให้มีช่วงของการกด 20 ช่วง (load increment) และคงแรงที่ 400 มิลลินิวตัน เป็นเวลา 0.1 วินาที ก่อนที่จะลดแรงลงเป็นช่วงๆ อีก 20 ช่วง (unload increment) จนกระทั่งแรงมีค่าเป็น 0 มิลลินิวตัน และคงแรงที่ 0 มิลลินิวตัน เป็นเวลา 0.1 วินาที

- 4.5 ตั้งค่าการทำงานของเครื่องด้วยพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3 โดยกำหนดให้เครื่องเริ่มต้นทำงานหลังจากตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว (start delay) อย่างน้อยเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในตู้ควบคุมอุณหภูมิคงที่ และระหว่างการทำงานควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ระหว่าง 23 ± 1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบความแข็งในระดับนาโน โดยปรับจากการทดสอบของ Mahoney และคณะ (46)

Indenter type	Berkovich
Contact force, mN	0.1
Maximum indentation force, mN	400
Increments	20
Increment progression	Square root
Dwell at load/ maximum/ unload, s	0.1/ 0.1/ 0.1
Array row size	3
Array column size	3
Delay between location, s	10
Testing conditions	23 ± 1 °c and $50 \pm 10\%$ RH

- 4.5 บันทึกค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของชิ้นตัวอย่างที่เครื่องคำนวณให้หลังการทดลองในตารางบันทึกผล
- 4.6 ในแต่ละรอยกดที่ได้ เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนจะประมวลผลเป็นกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ หากกราฟที่ได้มีลักษณะผิดปกติ จะคัดค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นออกจากค่าเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างนั้น
- 4.7 เนื่องจากการทดสอบความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นใช้เวลาประมาณครั้งละ 1 ชั่วโมง ดังนั้นในระหว่างการทดสอบความแข็งของชิ้นตัวอย่างชิ้นหนึ่งจะแช่ชิ้นตัวอย่างชิ้นอื่นในน้ำปราศจากอ็อกซิเจน (48)

5. การสุ่มตัวอย่างเข้าสู่กลุ่มการศึกษา

- 5.1 เมื่อได้ค่าความแข็งของหินตัวอย่างก่อนการทดลองจะต้องควบคุมให้มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันทั้งหมด
- 5.2 สุ่มตัวอย่างเข้าสู่กลุ่มการศึกษาด้วยวิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น (stratified sampling) โดยนำค่าความแข็งมาจัดเข้ากลุ่มตามระดับความแข็งที่วัดได้ กำหนดให้ความแข็งในระดับเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน
- 5.3 สุ่มหินตัวอย่างโดยการจับสลากจากระดับความแข็งเดียวกันเข้าสู่กลุ่มการศึกษาทั้ง 2 กลุ่มด้วยสัดส่วนที่เท่ากัน เพื่อให้ค่าเฉลี่ยความแข็งก่อนการทดลองของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

6. การทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์

- 6.1 นำหินตัวอย่างออกจากน้ำปราศจากอิออน เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับ
- 6.2 ใช้พู่กันทาซีพีพี-เอซีพีเพสต์ปริมาณ 0.01 กรัม บนผิวเคลือบพื้นในกลุ่มทดลองจนหมดบริเวณที่กำหนด จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำหินตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไปแช่ในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อจำลองระยะเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำไม่ได้รับประทานอาหารและดื่มน้ำหลังจากทาสารเป็นเวลา 30 นาที

7. การสัมผัสกับน้ำคลอรีน

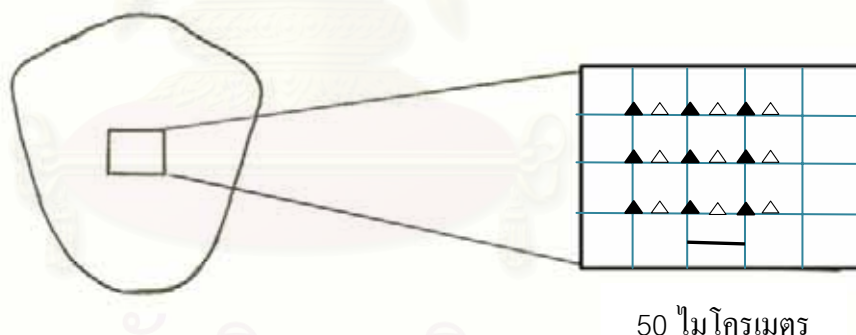
- 7.1 ผสมผงคลอรีนร้อยละ 90 ปริมาณ 0.5 กรัม กับน้ำประปา 500 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้สารละลายกรดไทโรคลอโรไอโซไซยานูริกที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดต่างที่มีความถี่สูงสุดจากผลการสำรวจน้ำในสระว่ายน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร (5)
- 7.2 แช่หินตัวอย่างลงในสารละลายกรดไทโรคลอโรไอโซไซยานูริกปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อกลุ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้หินได้สัมผัสกับสารที่จะทำให้หินสึกกร่อนใกล้เคียงกับการว่ายน้ำของนักกีฬาว่ายน้ำ (4)

8. การคืนกลับแร่ธาตุด้วยน้ำลายเทียม

- 8.1 เช็ดชิ้นตัวอย่างให้แห้งด้วยกระดาษซับ
- 8.2 นำชิ้นตัวอย่างไปแช่ในน้ำลายเทียมปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อกลุ่ม เพื่อให้มีการคืนกลับของแร่ธาตุใกล้เคียงกับสภาวะจริงในช่องปากเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

9. การทดสอบความแข็งหลังการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

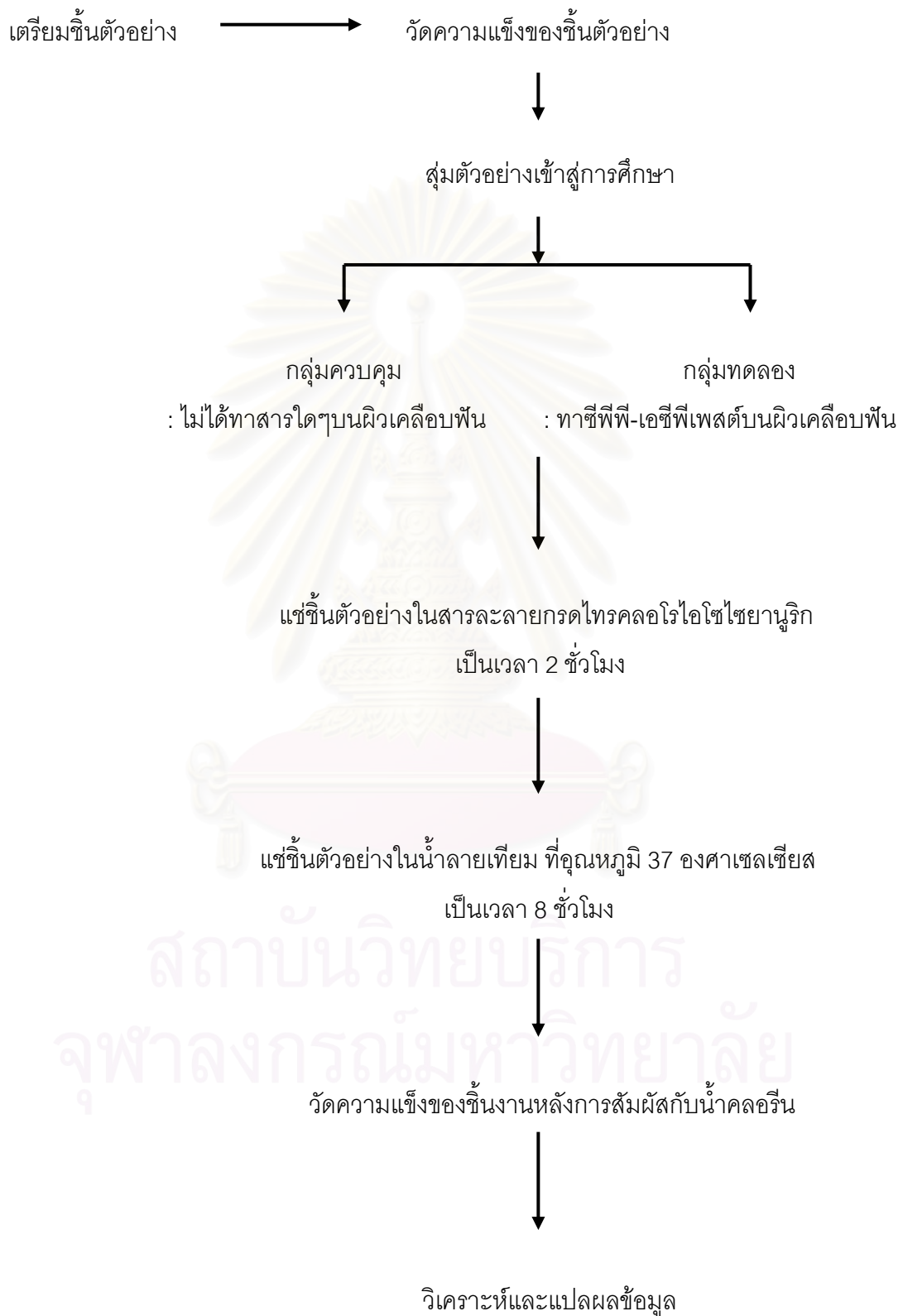
- 9.1 เช็ดชิ้นตัวอย่างให้แห้งด้วยกระดาษซับ
- 9.2 นำชิ้นตัวอย่างมาวางบนแท่นทดสอบของเครื่อง
- 9.3 การทดสอบความแข็งหลังจากแช่ฟันในน้ำคลอรีนจะกำหนดให้รอยกดอยู่ห่างรอยกดเดิมมาทางด้านขวาในแนวนอนเป็นระยะ 25 ไมโครเมตร เพื่อควบคุมให้ตำแหน่งรอยกดบนเคลือบฟันก่อนและหลังการทดลองเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยไม่ทับรอยกดเดิม และมีรูปแบบการกด 3x3 รอยกด เช่นกัน แสดงได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงรอยกดก่อนและหลังแช่ฟันในน้ำคลอรีน

- 9.4 ตั้งค่าการทำงานของเครื่องด้วยพารามิเตอร์เช่นเดียวกับการทดสอบความแข็งก่อนการทดลอง
- 9.5 บันทึกค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของชิ้นตัวอย่างในตารางบันทึกผล และพิจารณากราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ด้วยเกณฑ์เดียวกันกับการทดสอบความแข็งหลังการทดลอง

แผนภูมิสรุปรูปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น และลักษณะกราฟของแต่ละรอยกด จะถูกบันทึกลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4 และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

ตารางที่ 4 แสดงตารางบันทึกผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งระดับนาโน

รอยกดที่	ค่าความแข็ง (GPa)		ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
ค่าเฉลี่ย						
SD						

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนของแต่ละชั้นตัวอย่างจะได้เป็นค่าความแข็ง มีหน่วยเป็น จิกะปาสคาล และ ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น จิกะปาสคาล จากรอยกดทั้ง 9 หากพบลักษณะกราฟที่ผิดปกติจะคัดค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นนั้น ออก และกรณีที่พบจำนวนกราฟที่ผิดปกติเกินร้อยละ 20 ของรอยกดทั้งหมดจะคัดชั้นตัวอย่างนั้น ออกจากการทดลอง

นำค่าที่ได้จากรอยกดทั้งหมดในแต่ละชั้นตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นตัวแทนความแข็ง และมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบพื้น 1 ชั้น จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 13 กำหนดค่านัยสำคัญที่ $p < 0.05$ โดย ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาดังต่อไปนี้

1. สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบพื้นของแต่ละกลุ่มการศึกษาทั้งก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีน
2. วิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบพื้นก่อนและหลังการสัมผัสกับน้ำคลอรีน ในชั้นตัวอย่างเดียวกันด้วยสถิติวิลคอกสัน ไซน์ แรงค์ เทสต์ (Wilcoxon Signed-Rank test)
3. วิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบพื้นก่อนและหลังการสัมผัสกับน้ำคลอรีน ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยสถิติแมนน์ วิทนีย์ ยู เทสต์ (Mann Whitney U test)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนของกลุ่มควบคุม

กลุ่มควบคุม (n=6)	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ค่าเฉลี่ย	4.34	4.38	120.27	111.37
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.92	0.72	7.88	5.1
ค่าสูงสุด	5.64	5.44	130.56	123.94
ค่าต่ำสุด	3.45	3.25	111.98	96.77

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนของกลุ่มทดลอง

กลุ่มทดลอง (n=6)	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ค่าเฉลี่ย	4.91	5.05	117.60	118.66
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.32	0.29	5.59	3.84
ค่าสูงสุด	5.90	5.27	124.43	122.98
ค่าต่ำสุด	4.64	4.89	112.56	115.05

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาความแตกต่างในชั้นตัวอย่างเดียวกันด้วยสถิติวิลคอกสัน ไซน์ แรงค์ เทสต์

- ค่าเฉลี่ยความแข็งของเคลือบฟันในกลุ่มควบคุมก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 4.34 และ 4.38 จิกะปาสคาล ตามลำดับ มีแนวโน้มความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.6$)
- ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันในกลุ่มควบคุมก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 120.27 และ 111.37 จิกะปาสคาล ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.075$)
- ค่าเฉลี่ยความแข็งของเคลือบฟันในกลุ่มทดลองก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 4.91 และ 5.05 จิกะปาสคาล ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.34$)
- ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันในกลุ่มทดลองก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 117.60 และ 118.66 จิกะปาสคาล ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.753$)

วิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยสถิติแมน วิทเนีย ยู เทสต์

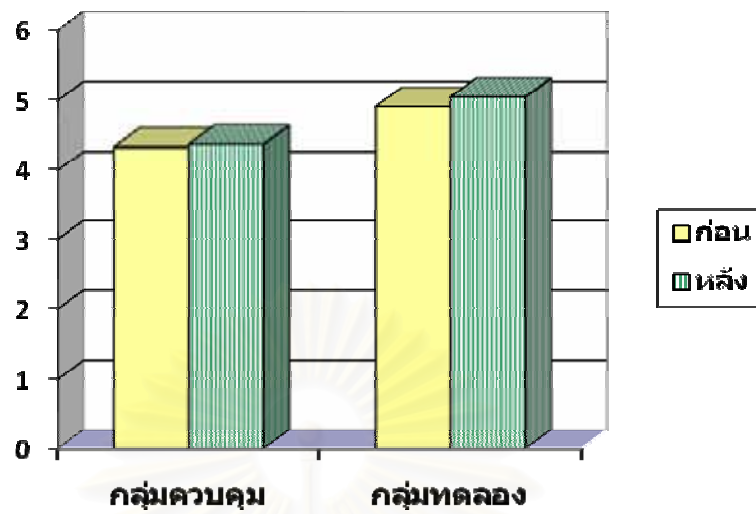
- ค่าเฉลี่ยความแข็งระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองก่อนสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 4.34 และ 4.91 จิกะปาสคาล ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.09$)
- ค่าเฉลี่ยความแข็งระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 4.38 และ 5.05 จิกะปาสคาล ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.24$)
- ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองก่อนสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 120.27 และ 117.60 ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.81$)
- ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนมีค่าเท่ากับ 111.37 และ 118.66 จิกะปาสคาล ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.026$)

ตารางที่ 7 แสดงความแตกต่างของค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟัน ก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3

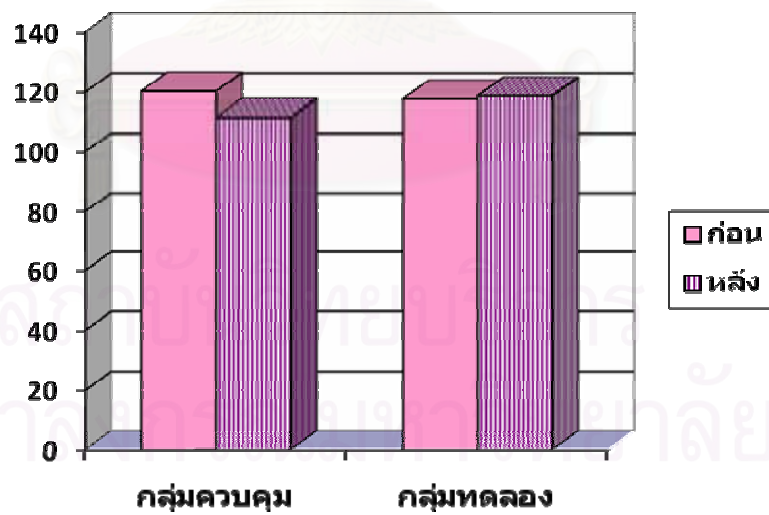
กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยความแข็ง (จิกะปาสคาล)			ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		
	ก่อน	หลัง	ระดับ นัยสำคัญ	ก่อน	หลัง	ระดับ นัยสำคัญ
ควบคุม	4.34 ± 0.92	4.38 ± 0.72	0.6	120.27 ± 7.88	111.37 ± 5.097	0.075
ทดลอง	4.91 ± 0.32	5.05 ± 0.29	0.34	117.60 ± 5.59	118.66 ± 3.84	0.753
ระดับ นัยสำคัญ	0.09	0.24		0.81	0.026*	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ทั้งนี้เมื่อพบว่าค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังสัมผัสน้ำโคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 11-12 จึงพิจารณาทำการศึกษาต่อไปโดยปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 และ 4.7 ร่วมกับผลการศึกษานำร่องที่ทดลองแช่ฟันในน้ำโคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6 พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดต่างของน้ำโคลอรีนมีค่าลดลง ความแข็งของเคลือบฟันก็มีแนวโน้มที่จะลดลงด้วย แสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 8



ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3



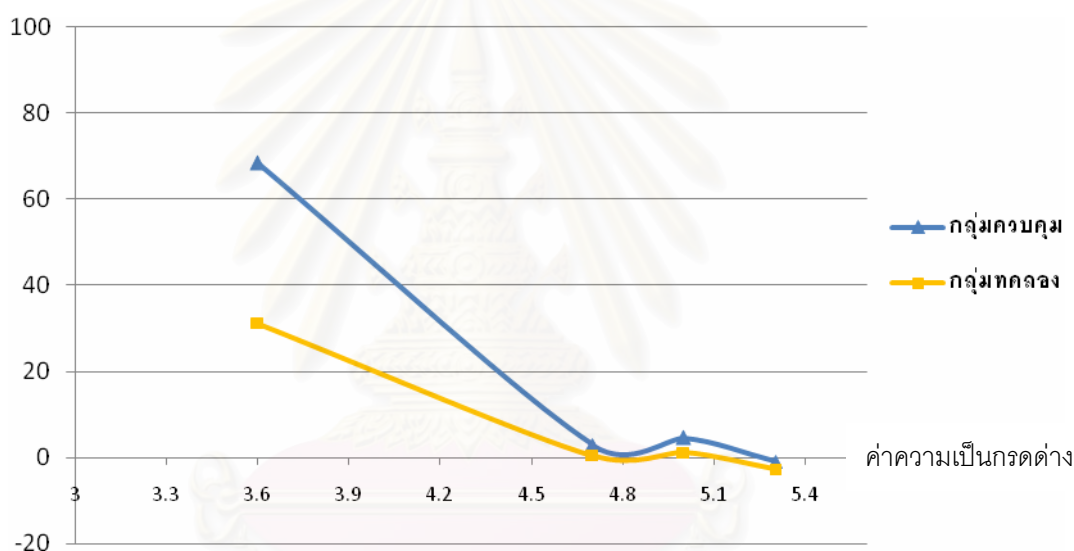
ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งและมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันก่อนและหลังแช่ในน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่าง ๆ

ค่าความเป็นกรดต่าง ของน้ำคลอรีน		ค่าเฉลี่ยความแข็ง (จิกะปาสกาล)		ร้อยละที่ เปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสกาล)		ร้อยละที่ เปลี่ยนแปลง
		ก่อนแช่	หลังแช่		ก่อนแช่	หลังแช่	
3.6	กลุ่มควบคุม (n = 1)	4.29 ± 0.33	1.35 ± 0.37	68.43	131.35 ± 7.94	49.45 ± 9.83	62.35
	กลุ่มทดลอง (n = 1)	4.41 ± 0.55	3.04 ± 0.46	31.21	151.01 ± 15.64	89.51 ± 5.93	40.72
4.7	กลุ่มควบคุม (n = 1)	5.72 ± 0.54	5.55 ± 0.47	2.92	113.21 ± 11.23	116.81 ± 12.43	-3.18
	กลุ่มทดลอง (n = 1)	4.93 ± 0.14	4.91 ± 0.17	0.50	120.57 ± 4.98	122.54 ± 5.39	-1.67
5.0	กลุ่มควบคุม (n = 2)	5.01 ± 0.71	4.77 ± 0.86	4.65	120.58 ± 16.38	118.76 ± 17.63	1.51
	กลุ่มทดลอง (n = 2)	4.42 ± 0.84	4.37 ± 0.85	1.20	121.97 ± 8.41	112.53 ± 7.96	7.74
5.3	กลุ่มควบคุม (n = 6)	4.34 ± 0.92	4.38 ± 0.72	-0.84	120.27 ± 7.88	111.37 ± 5.097	7.40
	กลุ่มทดลอง (n = 6)	4.91 ± 0.32	5.05 ± 0.29	-2.70	117.60 ± 5.59	118.66 ± 3.84	-0.90

แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและปัญหาของเครื่องทดสอบความแข็งระดับนาโน ทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาเพิ่มขึ้นอีกได้ ผลการศึกษาจึงไม่สามารถให้ข้อสรุปได้เนื่องจากจำนวนตัวอย่างในการศึกษายังน้อยเกินไป อย่างไรก็ตามผลที่ได้ทำให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนและร้อยละของความแข็งของเคลือบฟันที่ลดลงหลังสัมผัสน้ำคลอรีนได้ และยังพบว่าการทำซีพีพี-เอซีพีเฟสท์ทำให้ค่าความแข็งที่ลดลงหลังสัมผัสน้ำคลอรีนน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ดังภาพที่ 13

ร้อยละของความแข็งที่ลดลง



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนและร้อยละของความแข็งเคลือบฟันที่เปลี่ยนแปลงหลังสัมผัสน้ำคลอรีน

สำนักงานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และสรุปผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อเคลือบฟันที่สัมผัส น้ำโคลอรินจำลองการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ ลักษณะฟันสึกกร่อนของผู้ว่ายน้ำพบมาก ด้านริมฝีปากของฟันหน้า (4) แต่ฟันหน้าที่ถูกถอนมักมีสาเหตุจากฟันผุลุกลาม อุบัติเหตุ และโรคปริทันต์ และไม่สามารถหาปริมาณได้มากพอ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาในฟันกรามน้อยที่ ถอนเพื่อเหตุผลในการจัดฟันทำให้สามารถคัดเลือกฟันที่ปราศจากรอยผุ รอยอุด รอยแตกร้าว หรือ ลักษณะที่ผิดปกติต่างๆ ได้แก่ ฟันที่มีจุดขาวคล้ายชอล์ก ฟันเปลี่ยนสี ฟันตกรกระ ฟันที่มีการเจริญ พ่องของผิวเคลือบฟัน โดยเตรียมฟันด้านใกล้แก้มมาใช้ในการทดสอบเช่นเดียวกับการศึกษาอื่นที่ จำลองการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ (9, 50)

เป็นที่น่าสังเกตว่าการศึกษาในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ศึกษาโดยใช้ผิวเคลือบฟันที่ผ่านการ ขัดผิวหน้าให้เรียบเป็นระนาบ (16, 17, 19, 37) โดยผิวเคลือบฟันจะถูกขัดออกไปประมาณ 50-100 ไมครอน (17) จุดประสงค์ของการขัดผิวหน้าของเคลือบฟันก็เพื่อให้ได้พื้นผิวทดสอบที่ เรียบเพื่อใช้สำหรับประเมินผลการสึกกร่อนด้วยเครื่องมือต่างๆ แต่การขัดผิวเคลือบฟันซึ่งเป็น พื้นผิวที่โค้งให้เป็นระนาบ ทำให้แต่ละบริเวณของผิวเคลือบฟันถูกขัดออกเป็นระยะทางที่ห่างจาก ผิวนอกไม่เท่ากัน ในขณะที่ความแข็งของเคลือบฟันจะมีค่าลดลงจากผิวนอกสุดเข้าไปหารอยต่อ เคลือบฟันและเนื้อฟัน (dentino-enamel junction) (51, 52) ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความแข็งของ แต่ละบริเวณแตกต่างกันได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงออกแบบโดยทดสอบความแข็งของเคลือบฟัน ธรรมชาติที่ไม่ผ่านการขัดเพื่อควบคุมให้ค่าความแข็งของเคลือบฟันในแต่ละซี่ใกล้เคียงกัน อีกทั้ง การใช้ผิวเคลือบฟันที่ไม่ผ่านการขัดเลยจะทำให้การศึกษานี้ใกล้เคียงกับสภาวะที่แท้จริงทางคลินิก มากกว่า

ฟันสึกกร่อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ มีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ต้องอาศัยระยะเวลาจึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงทางคลินิกและการวัดฟันสึกกร่อนทางคลินิกอย่างแม่นยำทำได้ ยาก อย่างไรก็ตามนักวิจัยได้มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดฟันสึกกร่อนใน ห้องปฏิบัติการ โดยการวัดความแข็งของฟันเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่อง

จากกระบวนการเกิดพันธีก่อนทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้ผิวพื้นมีความแข็งแรงลดลง การวัดความแข็งที่นิยมใช้ในการวัดการสึกกร่อนมากที่สุด คือ การวัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค (42) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวรซึ่งวัดจากรอยกดหลังจากวัสดุมีการคืนสภาพยืดหยุ่นเรียบร้อยแล้ว ส่งผลให้ค่าความแข็งที่ได้เป็นค่าที่มากกว่าความเป็นจริง และการวัดผลต้องประเมินขนาดของรอยกดด้วยสายตาทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ทดสอบความแข็งในระดับนาโนขึ้นมา ซึ่งเป็นการวัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอย่างถาวรและการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น โดยการวัดผลไม่ได้ประเมินจากการวัดขนาดของรอยกดโดยใช้สายตา แต่แปลผลข้อมูลผ่านเครื่องเดปเซนซิ่งอินเดนเตชัน ทั้งในขณะโหลดและอันโหลดทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น และช่วยให้ประเมินพันธีก่อนได้ในระยะเริ่มแรก และได้มีรายงานการนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบัน (43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 53, 54) เป็นที่มาในการวัดการเปลี่ยนแปลงของความแข็งเคลือบฟันในการศึกษาครั้งนี้

อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการทดสอบความแข็งด้วยวิธีนี้ คือ ผิวเคลือบฟันจะต้องขัดให้เรียบและขนาน มีผลต่อการเตรียมชิ้นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ซึ่งต้องการทดสอบผิวเคลือบฟันธรรมชาติที่ไม่ผ่านการขัดผิวหน้า ทำให้ต้องใช้วัสดุป้ายซีเมนต์แรงกดร่วมกับเครื่องมือกดชิ้นงานเพื่อทำให้ชิ้นงานขนานในการหาพื้นที่เรียบบนผิวเคลือบฟันอย่างน้อย 1 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นตรวจผิวเคลือบฟันซ้ำอีกครั้งด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 200 เท่า วิธีนี้จะช่วยในการหาพื้นที่ระนาบสำหรับทดสอบความแข็งเคลือบฟันโดยไม่ผ่านการขัด นอกจากนี้การทดสอบความแข็งของผิวเคลือบฟันที่ไม่ขัดจะมีความยากลำบากในการอ่านค่าขนาดของรอยกดบนผิวฟันจากกล้องจุลทรรศน์ ดังนั้นการใช้เครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนที่แปลผลข้อมูลผ่านเครื่องเดปเซนซิ่งอินเดนเตชัน ทำให้ได้ค่าของพื้นที่ที่เกิดขึ้นจริงและมีความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้สายตาวัด

ประการสำคัญเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน (43) ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของระบบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นระดับนาโนเมตร โดยทั่วไปเครื่องควรอยู่ในบริเวณที่ปราศจากการสั่นสะเทือนและมีตู้เฉพาะสำหรับควบคุมอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน ซึ่งทางศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ได้สังเกตเห็นความสำคัญและมีความพยายามในการตั้งเครื่องในบริเวณเฉพาะ มีตู้ควบคุมอุณหภูมิตามที่บริษัทแนะนำ และติดเครื่องวัดอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ ผู้วิจัยได้ควบคุมให้อุณหภูมิขณะทดสอบ

ของผู้ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 23 ± 1 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบในช่วงที่ปราศจากการสั่นสะเทือนจากสิ่งแวดล้อม คือ เวลา 21.00 น. ถึง 2.00 น. และทดสอบความแม่นยำของเครื่องด้วยการวัดความแข็งของวัสดุฟิวส์ซิลิกา (fused silica) ได้เท่ากับค่าความแข็งตามมาตรฐาน (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก)

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งของเคลือบฟันมีค่าระหว่าง 4.34-4.91 จิกะปาสคาล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาอื่นที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน (41, 43, 44, 46, 51) โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 2.7-6.4 จิกะปาสคาล ตามการศึกษาของ Cuy (51) ที่ได้ทดสอบความแข็งของเคลือบฟันจากผิวบนสุดเข้าไปหารอยต่อเคลือบฟันและเนื้อฟัน ข้อแตกต่างที่สำคัญ คือ การศึกษาอื่น ๆ มีการขัดผิวหน้าของเคลือบฟันแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่ไม่ได้ขัดผิวเคลือบฟัน ซึ่งน่าจะพบค่าความแข็งที่มากกว่าการศึกษาอื่น แม้แต่ผลการศึกษาด้วยเครื่องทดสอบความแข็งระดับจุลภาคของฟันด้านในซึ่งห่างจากผิวเคลือบฟันด้านนอกเป็นระยะ 200 ไมครอน (18) เปรียบเทียบกับความแข็งเคลือบฟันด้านนอกที่ไม่ผ่านการขัด (55) พบความแตกต่างอย่างชัดเจนว่าเคลือบฟันด้านนอกมีความแข็งมากกว่าเคลือบฟันด้านในถึง 101-114 VHN ซึ่งน่าจะมีส่วนมาจากการค่าความแข็งของเคลือบฟันจะลดลงจากผิวบนสุดเข้าไปหารอยต่อเคลือบฟันและเนื้อฟัน แต่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ซึ่งทำในฟันที่ไม่ผ่านการขัดกลับไม่พบว่าค่าความแข็งมากกว่าการศึกษาอื่น อธิบายได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของฟันขึ้นกับปริมาณการสะสมของแร่ธาตุ โครงสร้างทางจุลภาค และการเรียงตัวของปริซึม (prism orientation) ทำให้ฟันมีความแข็งแตกต่างกันในแต่ละบริเวณและแตกต่างกันในฟันแต่ละซี่ (56) นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากแนวการตัดฟันและตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบความแข็งซึ่งแตกต่างกันออกไปในแต่ละการศึกษา

ส่วนค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันในการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 117.60-120.27 จิกะปาสคาล พบว่ามีค่าสูงกว่าการศึกษาอื่นที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนเหมือนกัน (41, 43, 44, 46, 51) อย่างไรก็ตามยังอยู่ในช่วงที่ได้จากการศึกษาของ Cuy (51) ที่พบว่าค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันมีค่าแตกต่างกันเป็นช่วงกว้างตั้งแต่ 47-120 จิกะปาสคาล Devlin และคณะ (54) ได้วิจารณ์ว่าค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟันมีความแตกต่างกันได้มากเนื่องมาจากระดับการสะสมของแร่ธาตุที่ต่างกันน้อยแตกต่างกันในแต่ละบริเวณของผิวเคลือบฟัน มีผลต่อการเรียงตัวของอินนาเมลรอด (enamel rod) ทำให้ฟันมี

คุณสมบัติเชิงกลต่างกัน และการศึกษานี้ได้มีความพยายามลดความแตกต่างในฟันที่เดียวกัน (intra-tooth variation) ด้วยการทดสอบความแข็งในแต่ละจุดห่างกันเพียง 50 ไมโครเมตร

ผลการศึกษาในครั้งนี้ความแข็งเคลือบฟันในกลุ่มควบคุมก่อนและหลังแช่น้ำคลอรีน เท่ากับ 4.34 ± 0.92 และ 4.38 ± 0.72 จิกะปาสคาล ตามลำดับ และความแข็งเคลือบฟันในกลุ่มทดลองก่อนและหลังแช่น้ำคลอรีนเท่ากับ 4.91 ± 0.32 และ 5.05 ± 1.29 จิกะปาสคาล ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งการเปรียบเทียบในกลุ่มเดียวกันและการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม โดยมีแนวโน้มว่าความแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นแม้ว่าฟันจะแช่น้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจำลองให้คล้ายคลึงกับการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายนํ้า สาเหตุที่ความแข็งไม่ลดลง ข้อแรก คือ การศึกษาครั้งนี้ศึกษาโดยใช้เคลือบฟันที่ไม่ได้ผ่านการขัดผิวหน้า ทำให้เคลือบฟันมีความแข็งและทนทานต่อการสึกกร่อนได้มากกว่า เพราะเคลือบฟันด้านนอกเป็นบริเวณที่มีฟลูออไรด์สูง (fluoride riched zone) มีความหนาแน่น (density) มากกว่า มีปริมาณสารอนินทรีย์ (inorganic substance) และแร่ธาตุมากกว่า (51, 52)

ข้อที่สองเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการศึกษาที่ผ่านมาที่จำลองการเกิดฟันสึกกร่อนจากการว่ายนํ้า พบว่าค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3.0-3.4 (9, 50) ซึ่งมีความเป็นกรดมากกว่าการศึกษานี้ที่ใช้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนเท่ากับ 5.3 เนื่องจากเป็นค่าความเป็นกรดต่างที่มีความถี่สูงสุดจากผลการสำรวจค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายนํ้าในกรุงเทพมหานคร (5) แต่เนื่องจากเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนนั้นสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของฟันได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น การศึกษาของ Habelitz และคณะ (53) ได้ทดสอบความแข็งของเคลือบฟันด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน พบว่าแม้แต่สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 ก็สามารถทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันจนทำให้ความแข็งลดลงได้เมื่อแช่ฟันนาน 24 ชั่วโมง ดังนั้นการที่ความแข็งเคลือบฟันไม่เปลี่ยนแปลงในการศึกษานี้ อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการแช่น้ำคลอรีนในระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้ในชีวิตประจำวันของประชาชนทั่วไปโอกาสที่ฟันจะได้สัมผัสกับน้ำคลอรีนในสระว่ายนํ้าที่มีค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 3.0-3.4 มีน้อยมาก ผลสำรวจล่าสุด พบว่าตัวอย่างน้ำจากสระว่ายนํ้าสาธารณะในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 34 แห่ง มีสระว่ายนํ้า 9 แห่ง

(คิดเป็นร้อยละ 26.48) ที่มีค่าความเป็นกรดต่างไม่เหมาะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.64 (30) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดต่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ข้อที่สามระยะเวลาที่พื้สัมผัสกับน้ำคลอรีน ในการศึกษาครั้งนี้แช่พื้ในน้ำคลอรีนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อจำลองการว่ายน้ำในแต่ละวันของนักกีฬาว่ายน้ำ ซึ่งพบว่านักกีฬาว่ายน้ำจะใช้เวลาในการว่ายน้ำเฉลี่ยวันละ 2-4 ชั่วโมง (4, 6) แต่ข้อควรพิจารณา คือ กระบวนการฝึกก่อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ต้องอาศัยระยะเวลาจึงจะพบความเปลี่ยนแปลงของเคลือบพื้ระยะเวลาเพียง 2 ชั่วโมงจึงสั้นเกินไปที่จะพบความเปลี่ยนแปลงของความแข็ง แม้แต่รายงานผู้ป่วยที่เป็นนักกีฬาว่ายน้ำ พบว่าระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้พื้สึกกร่อนรุนแรง คือ 27 วัน (3)

ส่วนค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้ในกลุ่มควบคุมก่อนและหลังแช่น้ำคลอรีนมีค่าเท่ากับ 120.27 ± 7.88 และ 111.37 ± 5.1 จิกะปาสคาล ตามลำดับ และค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้ในกลุ่มทดลองก่อนและหลังแช่น้ำคลอรีนมีค่าเท่ากับ 117.6 ± 5.59 และ 118.66 ± 3.84 จิกะปาสคาล ตามลำดับ พบว่าค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้หลังแช่น้ำคลอรีนระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.026$) โดยมีแนวโน้มว่าหลังแช่น้ำคลอรีนในกลุ่มควบคุมมีค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้ลดลง ส่วนกลุ่มทดลองค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้มีค่าใกล้เคียงค่าเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าหลังจากแช่พื้ในน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แม้ว่าจะไม่พบความเปลี่ยนแปลงของความแข็งของเคลือบพื้ในกลุ่มควบคุม แต่พบความเปลี่ยนแปลงของมอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นของเคลือบพื้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Barbour และคณะ (41) ที่พบว่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าความแข็ง เนื่องจากทำการศึกษาโดยลดค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงค่าหนึ่ง ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของความแข็งแต่ค่ามอดุลัสของสภาพยึดหยุ่นยังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้เมื่อพบว่าค่าความแข็งของเคลือบพื้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้งานวิจัยมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความพยายามที่จะทำการศึกษาต่อไปโดยปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนลดลงเท่ากับ 5.0 และ 4.7 ร่วมกับผลการศึกษานำร่องที่ทดลองแช่พื้ในน้ำคลอรีน

ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6 พบว่าความแข็งของเคลือบฟันในกลุ่มควบคุมลดลงหลังแช่น้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6 ถึงร้อยละ 68 ของความแข็งเริ่มต้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนมีค่าลดลง ความแข็งของเคลือบฟันก็มีแนวโน้มที่จะลดลงด้วย และการใช้ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ช่วยป้องกันการสึกกร่อนได้มากกว่าไม่ใช่ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลาที่ศึกษาในหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต ทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาต่อเพื่อให้ได้จำนวนชิ้นตัวอย่างเพียงพอต่อการวิเคราะห์ทางสถิติได้

ด้วยคุณสมบัติของซีพีพี-เอซีพีต่อฟันสึกกร่อนในการส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟัน และลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน (Reynold) จึงพบว่ามีการศึกษาผลของซีพีพี-เอซีพีต่อฟันสึกกร่อนในห้องปฏิบัติการหลายการศึกษาดังได้กล่าวไว้ในตอนต้น ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในลักษณะที่นำซีพีพี-เอซีพีมาใช้ในการส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟันหลังจากฟันมีการสึกกร่อนแล้ว (16, 18, 19, 55) แต่การศึกษาในครั้งนี้สนใจนำซีพีพี-เอซีพีมาใช้ในลักษณะป้องกันการสึกกร่อนเพื่อลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันก่อนที่จะสัมผัสสารละลายที่ทำให้เกิดการสึกกร่อน (erosive challenge) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rees และคณะ และ Piekarz และคณะ (37, 57) แต่มีความแตกต่างในขั้นตอนการทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์และขั้นตอนการทำให้สูญเสียแร่ธาตุโดยการศึกษาของ Rees และคณะ (37) ได้ทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์เป็นเวลา 15 นาที ก่อนที่จะนำฟันไปสัมผัสกับสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนการศึกษาของ Piekarz และคณะ (57) ได้ศึกษาโดยทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์เป็นเวลา 4 นาที ทุกๆ 20 รอบ ก่อนที่จะนำฟันไปสัมผัสกับกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนการศึกษาของ Piekarz และคณะ (57) ได้ศึกษาโดยทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์เป็นเวลา 3 นาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้นแช่ฟันในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 30 นาที เพื่อจำลองการใช้งานจริงที่ฟันจะได้สัมผัสกับน้ำลายในช่องปากตามที่บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำไม่ให้รับประทานอาหารและดื่มน้ำเป็นเวลา 30 นาทีหลังทาสาร การที่ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าซีพีพี-เอซีพีเพสต์ไม่มีผลต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง น่าจะเป็นผลมาจากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่จำลองการว่ายน้ำเพียง 1 วัน ซึ่งสั้นเกินไป และสารละลายในขั้นตอนการทำให้สูญเสียแร่ธาตุมีค่าความเป็นกรดต่างค่อนข้างสูงกว่าทั้งสองการศึกษา ดังนั้นเมื่อเคลือบฟันไม่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุจึงไม่ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนของการสะสมแร่ธาตุจากการทำซีพีพี-เอซีพีเพสต์ และแตกต่างจากการศึกษาในลักษณะที่นำซีพีพี-เอซีพีมาใช้ใน

การส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟันหลังจากฟันมีการสึกกร่อนแล้วที่เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จึงมีข้อจำกัดแตกต่างจากสภาวะที่แท้จริงทางคลินิก คือ น้ำลายเทียมไม่มีคุณสมบัติในการสร้างเยื่อผิวปกคลุมฟัน และน้ำลายเทียมไม่มีโปรตีนต่างๆที่ช่วยในการปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลาย ขั้นตอนการส่งเสริมให้มีการคืนกลับแร่ธาตุในการศึกษานี้ได้แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำลายเทียม 8 ชั่วโมงเพื่อจำลองสภาวะที่ฟันอยู่ในช่องปาก ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของหทัยชนก สุขเกษม และคณะ (18) ที่แช่น้ำลายเทียม 6 ชั่วโมง และพบว่าน้ำลายเทียมช่วยให้เคลือบฟันที่สึกกร่อนด้วยเครื่องมือโคลาามีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ผลการศึกษานี้ไม่พบว่าค่าความแข็งเคลือบฟันหลังแช่น้ำลายเทียมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน่าจะมีเหตุผลมาจากการที่เคลือบฟันไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุหลังแช่ในน้ำคลอรีน ดังนั้นจึงไม่เกิดกระบวนการสะสมแร่ธาตุตามมา

สำหรับมาตรการเฉพาะที่ในการป้องกันฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำด้วยตนเอง ผู้ว่ายน้ำควรหลีกเลี่ยงการว่ายน้ำในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ไม่ควรแปรงฟันก่อนและหลังการว่ายน้ำทันที ควรใช้ฟลูออไรด์เสริมที่มีฤทธิ์เป็นกลางในรูปแบบของน้ำยาบ้วนปาก หรือน้ำยาบ้วนปากที่มีส่วนผสมของไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไบคาร์บอเนต หรือน้ำยาบ้วนปากด้วยน้ำสะอาดทันที นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้เคี้ยวหมากฝรั่ง หรือเม็ดอมที่ปราศจากน้ำตาลเพื่อกระตุ้นการไหลของน้ำลาย ตลอดจนการรับประทานเนยแข็ง นม หรือโยเกิร์ตที่ปราศจากน้ำตาลเพื่อส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟัน แปรงฟันด้วยแปรงสีฟันขนนุ่ม ใช้ยาสีฟันที่มีผงขัดฟันน้อยและมีส่วนผสมของฟลูออไรด์และไบคาร์บอเนต (8, 12, 24, 25, 31) ส่วนการใช้ซีพีพี-เอสซีพีเพสต์ แม้ว่าจะมีการศึกษาที่ให้ผลในลักษณะป้องกันฟันสึกกร่อน (37, 57) แต่ยังไม่มียี่ห้อสำหรับป้องกันฟันสึกกร่อนจากการว่ายน้ำ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสำหรับผู้ว่ายน้ำที่ว่ายน้ำในสระว่ายน้ำทั่วไป แม้ว่าจะมีค่าความเป็นกรดต่างไม่เหมาะสมตามระเบียบข้อบังคับของกรุงเทพมหานครที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 7.2-8.4 แต่มีค่าความเป็นกรดต่างของน้ำในสระตั้งแต่ 5.3 ขึ้นไป และว่ายน้ำวันละไม่เกิน 2 ชั่วโมง มีแนวโน้มว่าจะไม่เกิดการละลายของผิวเคลือบฟันจนทำให้เกิดฟันสึกกร่อน แต่ยังไม่ทราบผลในระยะยาวในกรณีของนักกีฬาว่ายน้ำซึ่งมีความถี่ของการว่ายน้ำมากกว่าผู้ว่ายน้ำ

น้ำทั่วไป และในสภาพความเป็นจริงของแต่ละบุคคล กระบวนการเกิดฟันสึกกร่อนยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆในชีวิตประจำวันที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุและสะสมแร่ธาตุอีกด้วย เช่น โรคประจำตัว พฤติกรรมการบริโภคอาหารและเครื่องดื่ม การประกอบอาชีพ อัตรการไหลและคุณสมบัติของน้ำลาย เป็นต้น (8, 12, 23, 24, 26, 27)

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้สนใจผลของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ที่มีต่อการสึกกร่อนของฟันจากการว่ายน้ำในลักษณะการป้องกันการสึกกร่อน แม้ว่าจะมีความพยายามใช้ผิวเคลือบฟันธรรมชาติที่ไม่ผ่านการขัดเพื่อจำลองสภาวะที่แท้จริงทางคลินิก โดยนำฟันมาสัมผัสกับน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 5.3 ซึ่งมีความถี่สูงสุดจากผลการสำรวจสระว่ายน้ำในกรุงเทพมหานคร แช่ฟันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และวัดผลด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโนซึ่งมีความแม่นยำและสามารถวัดความเปลี่ยนแปลงได้ในระยะเริ่มต้น แต่พบว่าค่าความแข็งของเคลือบฟันก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงมีข้อเสนอแนะว่าการศึกษาลงมาของซีพีพี-เอซีพีเพสต์ต่อไปในอนาคตเกี่ยวกับการสึกกร่อนของฟันจากการว่ายน้ำควรพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

1. ระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเคลือบฟัน
2. ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำคลอรีนที่ปรับลดลงจาก 5.3 น่าจะทำให้พบการสึกกร่อนได้ในระยะเวลาอันสั้น
3. การออกแบบการศึกษาเพื่อจำลองลักษณะการเกิดแรงปะทะของน้ำในสระว่ายน้ำกับผิวฟันซึ่งน่าจะทำให้เกิดการสึกกร่อนได้มากกว่าการแช่ฟันในน้ำคลอรีน
4. การศึกษาในลักษณะที่นำซีพีพี-เอซีพีเพสต์มาใช้ในการส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเข้าสู่ฟันหลังจากฟันมีการสึกกร่อนแล้วน่าจะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า

สรุปผลการวิจัย

ซีพีพี-เอซีพีเพสต์ไม่มีผลต่อความแข็งของเคลือบฟันที่สัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและแช่ในน้ำลายเทียม 8 ชั่วโมง ในห้องปฏิบัติการ

รายการอ้างอิง

- (1) วิชญา รามสมภพ. การศึกษาผลกระทบของสารฆ่าเชื้อโรคกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกที่เติมลงในสระว่ายน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- (2) Centerwall, B.S.; Armstrong, C.W.; Funkhouser, L.S.; and Elzay, R. P. Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool. *Am J Epidemiol* 123 (April 1986): 641-7.
- (3) Geurtsen, W. Rapid general dental erosion by gas-chlorinated swimming pool. Review of the literature and case report. *Am J Dent* 13 (December 2000): 291-3.
- (4) วรพันธ์ ลิ้มสินธุโรภาส, ศรีสุดา ลีละศิธร และ จันทนา อึ้งชูศักดิ์. สภาวะฟันกร่อนในนักกีฬาว่ายน้ำจังหวัดพิษณุโลก. *ว.ทันต* 45 (2538): 98-104.
- (5) บุญนิตย์ ทวีบุรณ, ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพชร, วรพันธ์ บัวจิบ และ สร้อยศิริ ทวีบุรณ. ความชุกของการเกิดโรคฟันกร่อนในนักกีฬาว่ายน้ำและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง. *ว.ทันต* 48 (2541): 134-42.
- (6) จันทนา อึ้งชูศักดิ์, สุรัตน์ มงคลชัยอรัญญา และ ชนิษฐา รัตนรังสิมา. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟันกร่อนในผู้ว่ายน้ำ. *ว.ทันต* 49 (2542): 113-9.
- (7) Gabai, Y.; Fattal, B.; Rahamin, E.; and Gedalia, I. Effect of pH levels in swimming pools on enamel of human teeth. *Am J Dent* 1 (December 1988): 241-3.
- (8) Gandara, B. K.; and Truelove, E. L. Diagnosis and management of dental erosion. *J Contemp Dent Pract* 1 (November 1999): 16-23.
- (9) เข็มพร ปิกสหวงศ์, อาริยา รัตนทองคำ และ จินดา เลิศศิริวรกุล. ผลของเปลือกฟันต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันภายหลังแช่ในน้ำคลอรีน. *วารสารวิจัย มข ฉบับพิเศษ* (2546): 76-88.
- (10) จันทนา อึ้งชูศักดิ์ และคณะ. ประสิทธิภาพของการใส่เปลือกฟันเฉพาะบุคคลต่อการลดอาการเสียวฟันในนักกีฬาว่ายน้ำ. *ว.ทันต* 54 (2547): 235-241.

- (11) Lagerweij, M. D.; Buchalla, W.; Kohnke, S.; Becker, K.; and Lennon, A. M. Prevention of erosion and abrasion by a high fluoride concentration gel applied at high frequencies. Caries Res 40 (2006): 148-53.
- (12) Zero, D. T.; and Lussi, A. Erosion-chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. Int Dent J 55 (2005): 285-90.
- (13) Hawkins, R.; Locker, D.; Noble, J.; and Kay, E. J. Prevention. Part7: Professionally applied topical fluorides for caries prevention. Br Dent J 195 (September 2003): 313-7.
- (14) Shen, P.; Cai, F.; Nowicki, A.; Vincent, J.; and Reynolds, E. C. Remineralization of enamel subsurface lesions by sugar-free chewing gum containing casein phosphopeptides amorphous calcium phosphate. J Dent Res 80 (December 2001): 2066-70.
- (15) Cai, F.; Shen, P.; Morgan, M. V.; and Reynolds, E. C. Remineralization of enamel subsurface in situ lesion by sugar-free lozenges containing casein phosphopeptide amorphous calciumphosphate. Aust Dent J 48 (December 2003): 240-3.
- (16) Yamaguchi, K.; Miyazaki, M.; Takamizawa, T.; Inage, H.; and Moore, B. K. Effect of CPP-ACP paste on mechanical properties of bovine enamel as determine by an ultrasonic device. 34 (March 2006): 230-36.
- (17) Ramalingam, L.; Messer, L. B.; and Reynolds, E. C. Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. Pediatr Dent 27 (January-February 2005): 61-7.
- (18) หทัยชนก สุขเกษม, มุรธา พานิช และ สุจิต พูลทอง. ผลของเคซีน ฟอสโฟเปปไทด์-อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟตต่อความแข็งของเคลือบฟันที่ทำให้สึกกร่อนโดยเครื่องดื่มโคล่า. ว.ทันต.จุฬา 29 (2549): 183-94.
- (19) Tantbirojn, D.; Huang, A.; Ericson, M. D.; and Poolthong, S. Change in surface hardness of enamel by a cola drink and CPP-ACP paste. J Dent 36 (January 2008): 74-9.

- (20) Seow, W. K.; and Thong, K. M. Erosive effects of common beverages on extracted premolar teeth. Aust Dent J 50 (September 2005): 173-8.
- (21) Gadalia, I., et al. Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva. Am J Dent 4 (June 1991): 120-2.
- (22) Pinborg, J. J. Pathology of the dental hard tissue. Copenhagen: Munksgard, 1970.
- (23) Meurman, J.H.; and ten Cate, J. M. Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. Eur J Oral Sci 104 (April 1996): 162-77.
- (24) ten Cate, J. M.; and Imfeld, T. Dental erosion summary. Eur J Oral Sci 104 (April 1996): 241-4.
- (25) Lussi, A.; Hellwig, E.; Zero, D.; and Jaeggi, T. Erosive tooth wear: Diagnosis, risk factors and prevention. Am J Dent 19 (December 2006): 319-325.
- (26) Barbour, M. E.; and Rees, G. D. The role of erosion, abrasion and attrition in tooth wear. J Clin Dent 17 [Spec Iss] (2006): 88-93.
- (27) Zero, D. T. Etiology of dental erosion extrinsic factors. Eur J Oral Sci 104 (April 1996): 162-77.
- (28) ปิยรัตน์ ปิยสาธิต และ ชัชชัย คุณาวิศรุต. ฟันสึกกร่อนจากการร่วยน้ำ : รายงานผู้ป่วย 1 ราย. ว ทันต มหิดล 24 (2547): 193-200.
- (29) วรชน ยุกตานนท์. สภาวะฟันสึกกร่อนในฟันถาวรหน้าบนของนักกีฬาว่ายน้ำแข่งในสระที่มีค่าความเป็นกรดต่างมาตรฐานเปรียบเทียบกับเด็กทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- (30) สมชัย มโนพัฒนกุล สิริบังอร พิบูลนิยม ไชวิฑูรกิจ และ วงศ์ศิริ ชัยกาญจนกิจ. การศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นกรดต่างของน้ำในสระว่ายน้ำสาธารณะในเขต กรุงเทพมหานคร. ว ทันต มหิดล 24 (2549): 89-96.
- (31) Amaechi, B. T.; and Higham, S. M. Dental erosion: possible approaches to prevention and control. J Dent 33 (March 2005): 243-252.
- (32) Sorvari, R.; Meurman, J. H.; Alkakuujala, P.; and Frank, R. M. Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. Caries Res 28 (1994):

227-32.

- (33) Vieira, A.; Ruben, J. L.; and Huysmans, M. C. Effect of titanium tetrafluoride, amine fluoride and fluoride varnish on enamel erosion in vitro. Caries Res 39 (September-October 2005): 371-9.
- (34) Ganss, C.; Klimek, J.; Schaffer, U.; and Spall, T. Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro. Caries Res 35 (September-October 2001): 325-30.
- (35) Larsen, M. J.; and Richards A. Fluoride is unable to reduce dental erosion from soft drinks. Caries Res 36 (January-February 2002): 75-80.
- (36) Reynolds, E. C. Anticariogenic complexes of amorphous calcium phosphate stabilized by casein phosphopeptides: A review. Spec care in Dentist 18 (January-February 1998): 8-16.
- (37) Rees, J.; Loyn, T.; and Chadwick, B. Pronamel and tooth mousse: an initial assessment of erosion prevention in vitro. J Dent 35 (April 2007): 355-7.
- (38) Lussi, A.; Jaeggi, T.; and Jaeggi-Sharer, S. Prediction of the erosive potential of some beverage. Caries Res 54 (1995): 349-54.
- (39) Maupome, G.; Diez-de-Bonilla, J.; Torres-Villasenor, G.; Andrade-delgado, L. C.; and Castano, V. M. In vitro quantitative assessment of enamel microhardness after exposure to eroding immersion in cola drink. Caries Res 32 (1998): 148-53.
- (40) Wongkhantee, S.; Patanapiradej, V.; Maneenut, C.; and Tantbirojn, D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling material. J Dent 34 (March 2006): 214-20.
- (41) Barbour, M. E.; Parker, D. M.; Allen, G. C.; and Jandt, K. D. Human enamel dissolution in citric acid as a function of pH in the range $2.30 \leq \text{pH} \leq 6.30$ – a nanoindentation study. Eur J Oral Sci 111 (June 2003): 258-262.
- (42) Barbour, M. E.; and Rees, J. S. The laboratory assessment of enamel erosion: a review. J Dent 32 (November 2004): 591-602.

- (43) Willems, G.; Celis, J. P.; Lambrechts, P.; Braem, M.; and Vanherle, G. Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. J Biomed Mater Res 27 (June 1993): 747-55.
- (44) Mahoney, E.; Holt, A.; Swain, M.; and Kilpatrick, N. The hardness and modulus of elasticity of primary molar teeth: an ultra-micro-indentation study. J Dent 28 (November 2000): 589-94.
- (45) Poolthong, S.; Mori, T.; and Swain, M. V. Determination of elastic modulus of dentine by small spherical diamond indenters. Dent Mater J 20 (September 2001): 227-36.
- (46) Mahoney, E.; Beattie, J.; Swain, M.; and Kilpatrick, N. Preliminary in vitro assessment of erosive potential using the ultra-micro-indentation system. Caries Res 37 (May-June 2003): 218-24.
- (47) อสมมา ปาลเดชพงศ์ และ สุจิต พูลทอง สมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่เสริมเส้นใยวีลเกอร์. ว ทันต จุฬา 30 (2550): 129-40.
- (48) Poolthong S. Determination of the mechanical properties of enamel, dentine and cementum by the ultra-micro-indentation system. Doctoral dissertation, Dental Materials Science Discipline, Faculty of Dentistry, The University of Sydney, 1998.
- (49) ภิรมย์ กมลรัตนกุล, มนต์ชัย ชาลาประวรวรตน์ และ ทวีสิน ต้นประยูร. หลักการท้าวิจัยให้สำเร็จ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, 2548.
- (50) ภาณุเพ็ญ สิทธิสมวงศ์ และคณะ. ผลของเปลือกฟันร่วมกับเจลฟลูออไรด์ต่อความแข็งแรงของเคลือบฟันภายหลังแช่ในน้ำคลอรีน. ว ทันต 58 (2551): 93-102.
- (51) Cuy, J. L.; Mann, A. B.; Livi, K. J.; Teaford, M. F.; and Weihs, T. P. Nanoindentation mapping of the mechanical properties of human molar tooth enamel. Arch Oral Biol 47 (April 2002): 281-91.
- (52) Sturdevant, J. R.; Lundeen, T. F.; and Sluder, T. B. Clinical significance of dental anatomy, histology, physiology and occlusion. In T. M. Roberson; H. O.

- Heymann; and E. J. Swift (eds.), Sturdevant's the art and science of operative dentistry, pp.15-62. Missouri: Mosby, 2006.
- (53) Habelitz, S.; Marshall, G. W. Jr.; Balooch, M.; and Marshall, S. J. Nanoindentation and storage of teeth. J Biomech 35 (July 2002): 995-8.
- (54) Devin, H.; Bassiouny, M. A.; and Boston, D. Hardness of enamel exposed to Coca-Cola® and artificial saliva. J Oral Rehabil 33 (January 2006): 26-30.
- (55) Panich, M.; and Poolthong, S. The effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate and a cola soft drink on in vitro enamel hardness. J Am Dent Assoc 140 (April 2009): 455-9.
- (56) Braly, A.; Darnell, LA.; Mann, AB.; Teaforde, MF.; and Weihs, TP. The effect of prism orientation on the indentation testing of human molar enamel. Arch Oral Biol 52 (September 2007): 856-860.
- (57) Piekarczyk, C.; Ranjitkar, S.; Hunt, D.; and McIntyre, J. An in vitro assessment of the role of Tooth Mousse in preventing wine erosion. Aust Dent J 53 (March 2008): 22-5.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

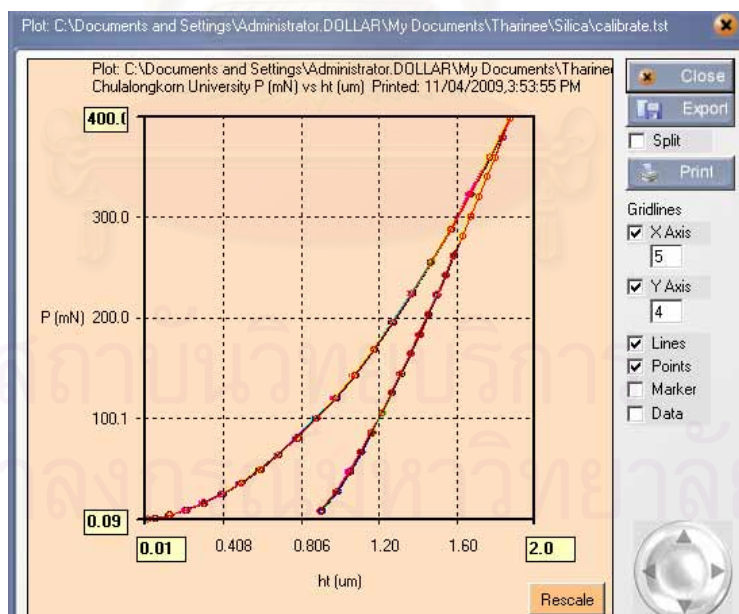
ภาคผนวก ก

วิธีวัดความแม่นยำของเครื่อง

ก่อนทำการทดสอบความแข็งเคลือบฟันในแต่ละการทดลองจะต้องทดสอบความแม่นยำของเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน ด้วยการทดสอบบนผิววัสดุมาตรฐานที่มีค่าความแข็งที่แน่นอนตามคู่มือการใช้งาน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบความแข็งของฟิวส์ซิลิกา (fused silica) จำนวน 3x3 รอยกดและจะต้องได้ค่าที่อยู่ในช่วงความแข็งมาตรฐาน คือ

ความแข็ง	8-10	จิกะปาสคาล
มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น	72.5	จิกะปาสคาล

และเครื่องจะต้องรายงานกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ของแต่ละรอยกดเป็นปกติทั้งหมด เนื่องจากวัสดุมาตรฐานนี้มีพื้นผิวที่ขัดเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 14 ซึ่งจะเห็นว่ากราฟของรอยกดทั้ง 9 รอยกดเป็นปกติและเกือบจะทับกันทุกเส้น



ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่างกราฟโหลด-ดิสเพลสเมนต์ที่ได้จากการทดสอบความแข็งของฟิวส์ซิลิกา

ภาคผนวก ข

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ไข

การทดสอบแต่ละครั้งเกิดปัญหาต่างๆขึ้นและได้พยายามหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา
ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ไข

ลำดับ	ปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ปัญหา
1	การเตรียมชิ้นงานเพื่อให้ได้ผิวทดสอบ ที่เป็นระนาบ - ทดลองฝังชิ้นพื้นโดยตรงลงในเรซิน พบว่าชิ้นพื้นจมลงในเรซิน - หาพื้นที่เรียบยากเมื่อมองผ่านกล้อง จุลทรรศน์ แม้จะมีความพยายามสร้าง จุดอ้างอิงด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง แบบจุลภาค	- เทเรซินให้เป็นส่วนฐานก่อน โดยเว้นพื้นที่ สี่เหลี่ยมไว้สำหรับวางพื้น แล้วเทเรซินอีกครั้ง ขณะฝังพื้นครั้งสุดท้าย - ใช้วัสดุป้ายซีบอกแรงกดช่วยตามวิธีในบทที่ 3
2	เครื่องมือมีความไวต่อแรงสั่นสะเทือน เนื่องจากมีงานก่อสร้างในบริเวณ ใกล้เคียง	ติดต่อประสานงานกับวิศวกรควบคุมงาน ก่อสร้างเพื่อขอให้ดำเนินงานก่อสร้างที่ไม่ ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนในช่วงเวลา 21.00 ถึง 2.00 น.
3	การเคลื่อนที่ผิดปกติของแท่นทดสอบ ในลักษณะแกว่งไปมาและกระตุก	กำหนดให้เครื่องเริ่มต้นทำงานหลังจากตั้งค่า เรียบร้อยแล้วอย่างน้อยเป็นเวลา 30 นาที เพื่อ ควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ก่อนการทำงาน

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งในระดับนาโน
ก่อนและหลังสัมผัสน้ำคลอรีนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.3

ขึ้นตัวอย่างที่ 1 (กลุ่มควบคุม)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	3.3066	3.5091	127.0731	110.4403	include	include
2	3.0685	3.6639	116.7417	112.5613	include	include
3	3.585	2.9631	114.813	94.7184	include	include
4	3.1546	3.2535	118.907	103.7982	include	exclude
5	3.0709	3.2808	116.4696	110.6478	include	include
6	2.4822	3.5657	99.9708	92.2104	include	include
7	3.6871	3.4576	121.0521	100.762	include	include
8	3.4891	3.2266	112.6906	135.1575	include	include
9	3.1243	4.0193	110.5694	158.4298	include	include
ค่าเฉลี่ย	3.2187	3.4608	115.3653	114.3659		
SD	0.3596	0.3166	7.521	20.8218		

ชั้นตัวอย่างที่ 2 (กลุ่มควบคุม)

รอยกตที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.365	4.6699	120.921	102.6646	include	include
2	4.6185	4.903	126.1563	102.8202	include	include
3	4.8338	5.5711	124.0897	107.8157	include	include
4	4.975	4.5318	96.0188	97.6683	include	include
5	5.1415	6.5769	124.1213	121.9601	include	include
6	4.7394	4.7083	121.4972	119.6381	include	include
7	4.919	4.8572	123.7481	91.375	include	include
8	4.7535	4.6413	117.5822	103.0799	include	include
9	4.4879	4.6258	120.4756	113.148	include	include
ค่าเฉลี่ย	4.7593	5.0095	119.4011	106.6855		
SD	0.2432	0.6637	9.1289	10.0247		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้นตัวอย่างที่ 3 (กลุ่มควบคุม)

รอยกตที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	5.4543	3.6264	146.1264	88.8364	include	include
2	3.8481	3.9538	110.2939	108.7934	include	include
3	4.2889	5.7254	128.8765	151.7349	include	include
4	4.5963	3.5615	130.6176	98.8638	include	include
5	5.0812	2.6586	144.2296	78.6838	include	exclude
6	3.2856	3.5818	113.9375	108.4996	include	include
7	3.4359	4.0585	107.6903	109.0067	include	include
8	3.2832	4.022	111.2109	111.0693	include	include
9	3.1831	3.6476	77.9223	112.5018	exclude	include
ค่าเฉลี่ย	4.1592	4.0221	124.1228	111.1632		
SD	0.8354	0.7181	15.5147	17.011		

ชั้นตัวอย่างที่ 4 (กลุ่มควบคุม)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	3.3501	4.0168	104.974	106.1237	include	include
2	3.916	3.8649	112.5871	105.6227	include	include
3	3.8791	3.7811	111.9856	54.516	include	include
4	4.4236	4.3314	122.2863	115.5418	include	include
5	4.0531	4.4636	116.712	113.0724	include	include
6	4.3644	3.9934	123.177	111.3638	include	include
7	3.3757	3.5606	94.4253	99.4347	include	include
8	4.2466	3.9401	130.4413	111.6591	include	include
9	3.1119	4.8533	98.8871	119.7044	include	include
ค่าเฉลี่ย	3.8578	4.0895	112.8306	104.1154		
SD	0.4765	0.3943	11.8180	19.5307		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้นตัวอย่างที่ 5 (กลุ่มควบคุม)

รอยกตที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	3.3501	4.0168	104.974	106.1237	include	include
2	3.916	3.8649	112.5871	105.6227	include	include
3	3.8791	3.7811	111.9856	54.516	include	include
4	4.4236	4.3314	122.2863	115.5418	include	include
5	4.0531	4.4636	116.712	113.0724	include	include
6	4.3644	3.9934	123.177	111.3638	include	include
7	3.3757	3.5606	94.4253	99.4347	include	include
8	4.2466	3.9401	130.4413	111.6591	include	include
9	3.1119	4.8533	98.8871	119.7044	include	include
ค่าเฉลี่ย	3.8578	4.0895	112.8306	104.1154		
SD	0.4765	0.3943	11.8180	19.5307		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้นตัวอย่างที่ 6 (กลุ่มควบคุม)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	3.3501	4.0168	104.974	106.1237	include	include
2	3.916	3.8649	112.5871	105.6227	include	include
3	3.8791	3.7811	111.9856	54.516	include	include
4	4.4236	4.3314	122.2863	115.5418	include	include
5	4.0531	4.4636	116.712	113.0724	include	include
6	4.3644	3.9934	123.177	111.3638	include	include
7	3.3757	3.5606	94.4253	99.4347	include	include
8	4.2466	3.9401	130.4413	111.6591	include	include
9	3.1119	4.8533	98.8871	119.7044	include	include
ค่าเฉลี่ย	3.8578	4.0895	112.8306	104.1154		
SD	0.4765	0.3943	11.8180	19.5307		

ชั้นตัวอย่างที่ 1 (กลุ่มทดลอง)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

ชั้นตัวอย่างที่ 2 (กลุ่มทดลอง)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

ชั้นตัวอย่างที่ 3 (กลุ่มทดลอง)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้นตัวอย่างที่ 4 (กลุ่มทดลอง)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

ชั้นตัวอย่างที่ 5 (กลุ่มทดลอง)

รายนามที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

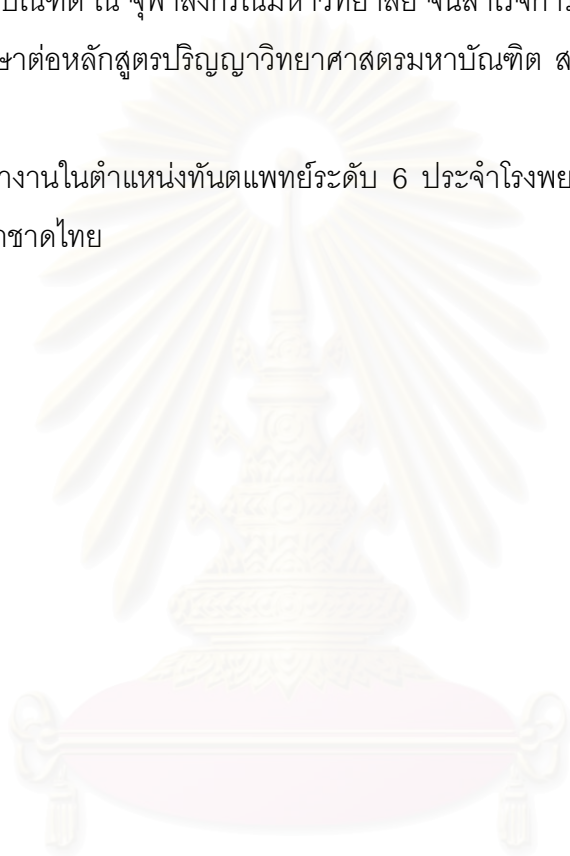
ชั้นตัวอย่างที่ 6 (กลุ่มทดลอง)

รอยกตที่	ค่าความแข็ง (จิกะปาสคาล)		ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (จิกะปาสคาล)		ลักษณะกราฟ	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	4.9689	4.75	112.2795	115.045	include	include
2	5.1299	4.9765	115.5248	119.8322	include	include
3	4.7581	5.122	118.2227	122.7753	include	include
4	4.8922	4.8441	119.3623	112.3082	include	include
5	4.8921	4.8555	121.4269	123.344	include	include
6	4.7565	4.7258	118.483	122.9832	include	include
7	4.7316	4.9154	119.9923	111.3792	include	include
8	4.8818	4.1868	120.9655	63.6369	include	exclude
9	4.8385	6.2063	124.8122	135.8132	include	exclude
ค่าเฉลี่ย	4.8722	4.8842	119.0077	118.2382		
SD	0.1244	0.1364	3.5841	5.23		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ธาวิณี พนมเริงศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีหลักสูตรทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2543 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมสำหรับเด็ก ในปีการศึกษา 2549

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งทันตแพทย์ระดับ 6 ประจำโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย