

กลไกการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันในสภาวะจำลองช่องปากที่ต่างกัน



นางสาว สุทธิจิต สุนทรภา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANISM OF ENAMEL DEMINERALIZATION IN VARIOUS ORAL SIMULATIONS



Miss Suthijit Soontrapa

ศูนย์วิทยุทันตกรรม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University



สุทธิจิต สุนทรภา : กลไกการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันในสภาวะจำลองช่องปากที่ต่างกัน. (MECHANISM OF ENAMEL DEMINERALIZATION IN VARIOUS ORAL SIMULATIONS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทพญ.ดร. มรกต เปี่ยมใจ, 82 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันโดยพิจารณาจากค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไป ปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลาย และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปาก เตรียมชิ้นเคลือบฟันวัว 246 ชิ้นให้มีขนาด  $5 \times 7 \times 1$  มม<sup>3</sup> และมีน้ำหนัก  $110 \pm 30$  มก. สุ่มแบ่งชิ้นตัวอย่างเป็น 5 กลุ่ม โดย 4 กลุ่มนำไปแช่ในสารละลายต่อไปนี้คือ สารละลายกรดแลคติก 0.07 โมลาร์ (กลุ่ม 1) น้ำลายเทียม (กลุ่ม 2) น้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติก (กลุ่ม 3) น้ำลายเทียมผสมกรดแลคติกและฟลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (กลุ่ม 4) ส่วนชิ้นตัวอย่างในกลุ่ม 5 นำไปเคลือบด้วยเรซินแล้วจุ่มแช่ในน้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติก แต่ละกลุ่มทำการแช่ชิ้นตัวอย่าง 1 ชิ้นในสารละลาย 10 มล. และทดสอบในช่วงเวลาที่แตกต่างกันคือ 5 นาที 15 นาที 30 นาที 1 ชม 5 ชม 24 ชม 3 วัน และ 7 วัน (n=6) นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนร่วมกับทำความสะอาดด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงนาน 1 นาที ชับน้ำและเป่าแห้งนาน 1 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง ส่วนสารละลายจะนำไปหาปริมาณแคลเซียมไอออนและวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลการวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวนทางเดียว พบว่ากลุ่ม 1 ค่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไปมีค่ามากที่สุดแตกต่างกับทุกกลุ่มในทุกช่วงเวลา ส่วนกลุ่ม 3 ค่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไปแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม 2 ในทุกช่วงเวลา ไม่พบความแตกต่างของค่าร้อยละน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม 2 กับกลุ่ม 4 และกลุ่ม 5 ตลอดช่วง 1 ชม และ 5 ชม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายกลุ่ม 1 และกลุ่ม 3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่ม 2 ปริมาณแคลเซียมไอออนที่ลดลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 7 กลุ่ม 4 และกลุ่ม 5 ปริมาณแคลเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นจะพบความแตกต่างใน 3 วัน และ 24 ชม ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายทดสอบแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันในทุกช่วงเวลา ยกเว้นกลุ่ม 3 และกลุ่ม 5 ตลอดช่วงเวลา 5 ชม ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดช่วงเวลาการทดลองไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกลุ่ม 2, 4 และ 5 จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าน้ำลายไม่สามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุจากเคลือบฟันได้ ในขณะที่ฟลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์และการปกคลุมผิวฟันด้วยเรซินสามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันได้ในเวลา 1 ชม และ 5 ชม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์  
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์  
ปีการศึกษา 2553



ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

## 5176138032 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : ARTIFICIAL SALIVA/ BOVINE ENAMEL/ CARIES PREVENTION/  
DEMINERALIZATION/ NEUTRALIZATION

SUTHIJIT SOONTRAPA : MECHANISM OF ENAMEL DEMINERALIZATION IN  
VARIOUS ORAL SIMULATIONS. ADVISOR : ASSOC. PROF. MORAKOT  
PIEMJAI, Ph.D. 82 pp.

The aim of this study was to compare the percent of weight loss of enamel, calcium ions concentration, and changing in the pH of various solutions simulated oral conditions. Two hundred and forty six bovine enamel slabs of 5.0x7.0x1.0 mm<sup>3</sup> and weight 110±30 mg each were prepared and randomly divided into 5 groups of solutions: 0.07 M lactic acid (Group 1), artificial saliva (Group 2), lactic acid+artificial saliva (Group 3), lactic acid+artificial saliva+hydroxyapatite crystal (Group 4). The enamel specimens in Group 5 were infiltrated with resin before soaking in lactic acid+artificial saliva. Each specimen was immersed in 10 ml each of the solutions for 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 5 h, 24 h, 3 day, and 7 day (n=6). The tested specimens were ultrasonically cleaned in deionized water for 1 min and air-dried all surfaces for 1 min. The weight was measured and calculated to percent of weight changing. The solutions were detected for the calcium ions concentration and the pH value. Analysis results from one way ANOVA showed that Group 1 had the highest percent of weight loss, statistically significant difference between group solution and time intervals were revealed. Percent of weight loss in Group 3 was significant difference with Group 2 all the time intervals. No significant difference in percent of weight change between Group 2, 4 and Group 2, 5 was found in the time of 1 h and 5 h, respectively. Significantly increased in the calcium ions concentration of Group 1 and 3 all the time intervals were revealed. Group 2 was significantly decreased of the calcium ions concentration in 7 day. Statistically significant difference in the calcium ions concentration of Group 4 and Group 5 was found in 3 day and 24 h, respectively. The pH of each group solutions was significant difference all time intervals, except Group 3 and 5 no significant difference were revealed in 5 h. During the testing time, the pH values of Group 2, 4, and 5 were no significant difference. It can be concluded that saliva could not protect the enamel demineralization, while synthetic hydroxyapatite crystal and hybridized layer protected enamel from acid demineralization in 1 h and 5 h, respectively.

Department : Prosthodontics..... Student's Signature .....  
Field of Study : Prosthodontics..... Advisor's Signature .....  
Academic Year : 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ในการให้คำแนะนำทางด้านวิชาการที่มีคุณค่าและการเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดถึงสนับสนุนวัสดุในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

กรรมการทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์และแก้ไขวิทยานิพนธ์

อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ในการให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้สถิติ

บุคลากรทุกท่านในศูนย์วิจัยวิทยาชองปาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ จัดให้มีอุปกรณ์ และให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูล รวมถึงบริษัทชั้นเมดิคัล จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์ขายวัสดุในราคาวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา บุคคลในครอบครัวสุนทรามาและครอบครัว

หรือฝ่ายที่ได้ให้กำลังใจและเป็นกำลังผลักดันช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2 ปรัชญาบรรณกรรม.....	7
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	19
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
5 อภิปรายผลการวิจัย.....	40
6 สรุปผลการทดลอง.....	45
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการแตกตัวของกรดที่พบในแผ่นคราบจุลินทรีย์...	9
2	เปรียบเทียบส่วนประกอบที่ได้มาจากแต่ละตอม่น้ำลาย.....	11
3	องค์ประกอบภายในโครงสร้างฟัน และขนาดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์.....	14
4	แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชั้นเคลือบฟัน (หน่วย %).....	26
5	แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ปริมาณแคลเซียมภายในสารละลาย (หน่วย ppm).....	27
6	แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปาก.....	28
7	สถิติพรรณนาแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชั้นเคลือบฟันที่แช่ในสารละลายจำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 8 ชั่วโมง.....	52
8	สถิติพรรณนาแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น (0 นาที) ของสารละลายในกลุ่มควบคุม.....	53
9	สถิติพรรณนาแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 8 ชั่วโมง.....	54
10	สถิติพรรณนาแสดงปริมาณแคลเซียมเริ่มต้นในสารละลายกลุ่มควบคุม.....	55
11	สถิติพรรณนาแสดงปริมาณแคลเซียมในสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 4 ชั่วโมง.....	56
12	ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย.....	57
13	ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณแคลเซียมภายในสารละลาย.....	69
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของแต่ละปัจจัย.....	75
15	ปริมาณแคลเซียมในสารละลายกลุ่มควบคุมก่อนและหลัง (ppm) (จากงานวิจัยนาร่อง) .....	77
16	ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกลุ่มควบคุมก่อนและหลัง .....	80



ตารางที่		หน้า
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ปริมาณแคลเซียมใน สารละลาย และค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	81



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์ ภายหลังจากรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ.....	8
2	การหลังของไบคาร์บอเนตไอออนในน้ำลาย.....	13
3	การเตรียมชิ้นตัวอย่างเคลือบฟันจากฟันตัดซี่กลางของวัว.....	20
4	สรุปการจัดกลุ่มตัวอย่างเข้าศึกษา และการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	24
5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 5 นาที.....	31
6	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	32
7	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 7 วัน.....	33
8	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 5 นาที (ชิ้นที่ 1).....	34
9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 5 นาที (ชิ้นที่ 2).....	35
10	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ชิ้นที่ 1).....	36
11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ชิ้นที่ 2).....	37

ภาพที่		หน้า
12	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของซินต์วอย่างี่แซในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 7 วัน (ชั้นที่ 1).....	38
13	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของซินต์วอย่างี่แซในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 7 วัน (ชั้นที่ 2).....	39



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เคลือบฟันเป็นส่วนที่มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อยู่จำนวนมาก จึงทำให้เนื้อเยื่อชนิดนี้แข็งแรงที่สุดในโครงสร้างของร่างกาย แต่ถึงอย่างไรก็ตามมีหลายสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเคลือบฟันได้แก่ สภาวะความผิดปกติของการสร้างเคลือบฟัน การสึกจากแรงกระทำที่มากเกินไปจนเกินกว่าเคลือบฟันจะรับได้ เช่น เกิดคอฟันสึกจากการแปรงฟันที่แรง ฟันสึกจากการกัดแน่นฟันหรือนอนกัดฟัน ฟันสึกเนื่องจากสบกับวัสดุที่มีความแข็งผิวมากกว่า หรือถูกกรอออกโดยทันตแพทย์ระหว่างขั้นตอนการรักษา นอกจากนี้ยังอาจสูญเสียเคลือบฟันได้จากสารเคมีเช่น การรับประทานอาหารที่มีรสเปรี้ยว การไหลย้อนของกรดจากระบบย่อยอาหาร และกรดที่สร้างมาจากเชื้อแบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดฟันผุ

Miller (1890 อ้างถึงใน Newbrun, 1989) กล่าวว่าฟันผุเป็นกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุออกจากเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยกรดนั้นสร้างมาจากเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในช่องปากซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการหมักอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต การศึกษาในปัจจุบันเชื่อว่าฟันผุนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยร่วมกัน (Axelsson, 2000; Fejerskov and Kidd, 2003) จะเกิดฟันผุเมื่อไม่มีความสมดุลระหว่างปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคหรือการสูญเสียแร่ธาตุ กับปัจจัยที่ป้องกันการเกิดโรคหรือการคืนแร่ธาตุ กรดที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฟันผุคือกรดแลคติก เนื่องจากเมื่อได้รับน้ำตาลซูโครสจะพบปริมาณของกรดแลคติกเพิ่มขึ้นมากและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่น (Moore et al, 1956; Geddes, 1975; Margolis and Moreno, 1992) และยังพบความสัมพันธ์ของปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นในน้ำลายกับค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลงภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์ (Ludwig and Bibby, 1957) การศึกษาที่ผ่านมาเชื่อว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ต่างเพื่อกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นและกลไกการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุจากฟันเป็นผลจากคุณสมบัติของน้ำลาย (Abelson and Mandel, 1981; Dawes, 1989; Higham and Edgar, 1989; Meurman and ten Cate, 1996; Jensdottir et al, 2005; Stookey, 2008) ได้แก่ คุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำลายจะช่วยต้านการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ต่างซึ่งเกิดจากกรด และทำให้ความเป็นกรดลดลงโดยกลไกทำให้เป็นกลาง (Bardow et al, 2000; Malekipour, Messripour, and Shirani, 2008) ปริมาณน้ำลายที่เพิ่มภายหลังจากถูกกระตุ้นจะช่วยเจือจางกรดที่เกิดขึ้น ช่วยกำจัดคราบอาหารและกรดบางส่วนที่อยู่ในแผ่นคราบจุลินทรีย์โดยการไหลผ่านและการกลืน แร่ธาตุแคลเซียมฟอสเฟตที่มีมากในน้ำลายยังสามารถมี

การคืนแร่ธาตุกลับเข้าไปตามรूपูนบนผิวพื้น และสามารถรวมตัวกับฟลูออไรด์ไอออนเกิดเป็นพื้นผิวใหม่ของฟลูออไรอะพาไทต์ปกคลุมด้านบน ซึ่งพื้นผิวใหม่มีความสามารถด้านทานการละลายจากกรดได้ดีขึ้น (Featherstone, 2000) นอกจากนี้โปรตีนและสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในน้ำลายยังสามารถสร้างชั้นเคลือบบนพื้นผิวพื้น จึงช่วยลดการสัมผัสพื้นผิวโดยตรงจากกรด ส่งผลให้การสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Lendenmann, Grogan, and Oppenheim, 2000; Hara et al, 2006)

ภายหลังจากบริโภคน้ำตาลถึงแม้จะอยู่ในสภาวะที่น้ำลายถูกกระตุ้นให้มีการไหลมากขึ้น กลไกการกลืนที่ขึ้น (Lagerlof and Dawes, 1984) คุณสมบัติบัฟเฟอร์ของน้ำลายเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังพบว่าการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์ (Jensdottir et al, 2005) นั้นแสดงว่ากรดที่ถูกสร้างขึ้นนั้นมีปริมาณมากและสามารถทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุจากพื้นได้ทันทีที่สัมผัส ก่อนจะถูกเจือจางหรือชะล้างออกไปโดยการไหลผ่านของน้ำลาย นอกจากนี้ความหนาของแผ่นคราบจุลินทรีย์กับความเหนียวของอาหารยังมีอิทธิพลต่อการชะล้างของน้ำลาย (Dawes, 1989) ทำให้กรดที่ถูกสร้างสัมผัสพื้นผิวพื้นตลอดเวลา การศึกษาของ Ablal และคณะ (2009) แสดงให้เห็นว่าไม่พบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติบัฟเฟอร์ของสารละลายกับการลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของปริวันท์ จันทรเวช (2548) ที่แสดงให้เห็นว่าสารละลายบัฟเฟอร์แลคติกที่ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุของฟันได้ ส่วนการศึกษาของ Magolis, Murphay และ Moreno (1985) พบว่าไม่ได้มีแต่เพียงแต่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่สะท้อนการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน แต่อัตราการสูญเสียแร่ธาตุยังขึ้นกับระดับความอึดตัวของสารละลายที่ใช้จำลองการเกิดฟันผุด้วย ดังนั้นสิ่งที่ช่วยกำจัดกรดออกไปแล้วทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นน่าจะเป็นผลจากกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุของฟันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างกับกรดแลคติก จึงส่งผลให้ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในช่องปากลดลงและกลับเข้าสู่สภาวะความเป็นกลาง สมมติฐานของการวิจัยนี้คือกรดที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกทำให้ลดลงและหมดไปด้วยการสูญเสียแร่ธาตุออกมาจากผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ของฟัน ไม่ใช่เพราะคุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำลายเพียงอย่างเดียว

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวัดปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันในสภาวะจำลองช่องปากที่ต่างกัน โดยพิจารณาจากค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเคลือบฟัน และปริมาณแคลเซียมไอออนที่สลายออกมาในสารละลาย
2. เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปากที่ต่างกัน
3. เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในสภาวะจำลองช่องปากที่ต่างกัน

### ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro)
2. ฟันที่ใช้ในการทดลองเป็นฟันวีวีซี่ตัดกลางที่ถอนออกมาจากขากรรไกรของวัวที่มีอายุ 2-4 ปี ซึ่งได้จากโรงฆ่าสัตว์ในจังหวัดขอนแก่น ภายหลังจากถอนเก็บไว้ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ใช้งานไม่เกิน 6 เดือน
3. ซึ้นตัวอย่างเตรียมมาให้ได้เฉพาะส่วนของเคลือบฟัน มีขนาด 5x7x1 มม. และมีน้ำหนัก  $110 \pm 30$  มก.
4. สารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปาก มีองค์ประกอบของกรดแลคติกความเข้มข้น 0.07 โมลาร์ในสารละลายปริมาณ 10 มล. พิจารณาจากปริมาณน้ำลายสูงสุดที่ไหลออกมาในช่องปากก่อนจะมีการกลืน (Lagerlof and Dawes, 1984) และกรดแลคติกที่เกิดขึ้นภายหลังจากรับประทานอาหารใน 1 มื้อ (Ludwig and Bibby, 1957; Margolis and Moreno, 1992)

## ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง การผสมสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปาก การทดสอบผลและการวัดผล ดำเนินการโดยผู้วิจัยซึ่งเป็นทันตแพทย์เพียงคนเดียวและใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดการศึกษาคือ เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดระดับความแม่นยำ 0.0001 กรัม (Balance รุ่น BP 110S, Sartorius, Gottingen, Germany) และเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter รุ่น 420A, ATI Orion, Boston, USA.)

2. การหาปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายจะวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ไอ ซี พี สเปคโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, ICPS)

3. ฟิล์มไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่เลือกใช้มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 200 นาโนเมตร (Sigma - Aldrich, St. Louis, MO USA) เพื่อให้ใกล้เคียงกับขนาดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ภายในเคลือบฟันซึ่งมีขนาด 70 นาโนเมตร

5. น้ำลายเทียม (artificial saliva) ผลิตจากภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.7-7.0 มีองค์ประกอบดังนี้

- Potassium chloride BP 0.75 g.
- Magnesium chloride BP 0.07 g.
- Calcium chloride BP 0.199 g.
- Dipotassium hydrogen phosphate USP 0.965 g.
- Potassium dihydrogen phosphate 0.439 g.
- Sodium fluoride BP 0.005 g.
- Sodium carboxymethylcellulose BP 6 g.
- Sorbitol 70% BP 36 g.
- Paraben Conc. 18.20 ml.
- Deionize water 1,200 ml.

## ข้อจำกัดของการวิจัย

เป็นการศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยบางอย่างให้เหมือนกับสภาวะในช่องปากได้ทั้งหมด เช่น ความชื้น อัตราการไหลของน้ำลาย การกำจัดน้ำลาย และกรดโดยการกลืน และการผลิตน้ำลายออกมาใหม่

## คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

กรด (acid) หมายถึงโมเลกุลหรือไอออนที่เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) (Arrhenius Concept) หรือสารที่สามารถให้โปรตอนแก่สารอื่นได้ (Bronsted-Lowry Concept)

ด่าง หรือเบส (base) หมายถึงโมเลกุลหรือไอออนที่เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน หรือไฮดรอกซิล ( $OH^-$ ) (Arrhenius Concept) หรือสารที่สามารถรับโปรตอนจากสารอื่นได้ (Bronsted-Lowry Concept)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH, พีเอช) คือค่าลบของ Logarithm ของความเข้มข้นของ  $H^+$  มีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำบริสุทธิ์จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่า 7 คือ  $H^+$  มีค่าน้อยกว่า  $10^{-7}$  ถือว่าเป็นด่าง ส่วนสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 คือ  $H^+$  มีค่ามากกว่า  $10^{-7}$  ถือว่าเป็นกรด โดยสารที่มีความเป็นกรดแก่หรือด่างแก่สามารถมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 0 และมากกว่า 14 ได้ ตามลำดับ

ปฏิกิริยาสะเทิน หรือปฏิกิริยานิวทรัลไลซ์ หรือกลไกทำให้เป็นกลาง (neutralization reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดกับด่างซึ่งจะทำให้เกิดเกลือและน้ำได้ดังนี้คือ ไฮโดรเจนไอออนจากกรดจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนจากด่างเกิดเป็นน้ำ ส่วนไอออนบวกที่เหลือจากด่างทำปฏิกิริยากับไอออนลบที่เหลือจากกรดเกิดเป็นเกลือ โดยเกลือนั้นเมื่อละลายน้ำอาจมีสมบัติเป็นกลาง กรด หรือด่างก็ได้ เช่นเกลือที่เกิดจากกรดแก่-ด่างแก่จะเป็นเกลือกลาง ถ้าเกลือที่เกิดจากกรดแก่-ด่างอ่อนจะเป็นเกลือกรด

สารละลายบัฟเฟอร์กรด คือสารละลายกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนหรือคู่ต่างของกรดอ่อนนั้น โดยสารละลายนี้สามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อเติมน้ำหรือเติมกรดหรือด่างลงไปเล็กน้อย เราเรียกความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลง



ค่าความเป็นกรด-ด่างนี้ว่า คุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ (buffer capacity) กลไกการทำงานของระบบบัฟเฟอร์กรดคือ เมื่อเติมกรดลงไปไฮโดรเจนไอออนของกรดจะไปทำปฏิกิริยากับเกลือของกรดอ่อนที่แตกตัวหรือคู่เบส จึงเหมือนเป็นการลดไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มเข้าไปในสารละลาย ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ความเข้มข้นของสารละลาย คืออัตราส่วนของปริมาณตัวถูกละลายต่อปริมาณตัวทำละลายหรือปริมาณสารละลาย กรณีความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์หรือร้อยละแต่ไม่ระบุว่าเป็นประเภทใด ให้ถือว่าเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งก็คือน้ำหนักของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนักเดียวกัน (น้ำหนักตัวถูกละลาย + น้ำหนักตัวทำละลาย)

โมลาร์ หรือโมลาริตี (Molar หรือ Molarity; M) คือหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่บอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร มีหน่วยเป็น  $\text{mol/dm}^3$ ,  $\text{mol/L}$

โมล (mol) คือหน่วยวัดปริมาณสาร ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของสาร (หน่วยเป็น g) ต่อมวลโมเลกุลหรือมวลอะตอม (หน่วยเป็น g/mol) ดังนั้นสารใดที่มีปริมาณ 1 โมล จะถือว่ามวลเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น

ส่วนในล้านส่วน (Part per Million; ppm) คือหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่เจือจางมากๆ ซึ่งมีส่วนของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ล้านส่วน จึงถือว่าน้ำหนักหรือปริมาตรของสารละลายคือน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวทำละลายนั่นเอง มีหน่วยเป็น mg/L, ml/L, mg/kg,  $\mu\text{g/ml}$  ในกรณีที่ระบุชนิดของ ppm ให้ถือว่าเป็นหน่วยโดยน้ำหนักต่อปริมาตร

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงกระบวนการเกิดฟันผุที่ถูกต้อง
2. เพื่อป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุจากสภาวะความเป็นกรดในช่องปาก

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental research)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

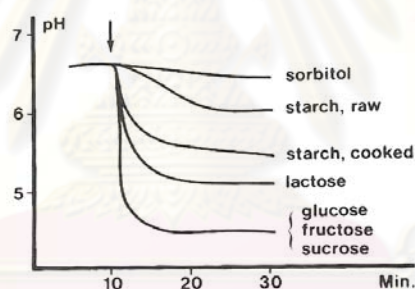
#### เชื้อแบคทีเรีย อาหาร และกรดซึ่งเป็นสาเหตุของฟันผุ

เชื้อแบคทีเรียชนิดที่สามารถสร้างกรดได้มากและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฟันผุมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ Mutans streptococci ซึ่งได้แก่ *Streptococcus mutans* และ *Streptococcus sobrinus* อีกกลุ่มคือ Lactobacilli species (Featherstone, 2000) เชื้อเหล่านี้นอกจากพบส่วนใหญ่ภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์แล้ว ยังสามารถพบได้ในน้ำลายและตามเนื้อเยื่ออ่อนภายในช่องปาก (Gibbons and Houte, 1971) นอกจากนี้ยังพบเชื้อนี้ได้กับผู้ป่วยที่มีฟันผุลุกลามและผู้ป่วยที่ไม่มีฟันผุ (Stephan, 1944)

แผ่นคราบจุลินทรีย์เป็นส่วนที่มีลักษณะนิ่มซึ่งยังไม่มี การสะสมของแร่ธาตุ พบได้ในบริเวณที่ทำความสะอาดไม่เพียงพอ มีความไม่เรียบของผิวฟันหรือขอบวัสดุอุดที่ไม่ดี ภายในประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียร้อยละ 70 ที่มาจากน้ำลายและเยื่อภายในช่องปาก อีกร้อยละ 30 เป็นสารอินทรีย์ได้แก่ น้ำ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ดังนั้นการสร้างกรดของเชื้อแบคทีเรียจึงสามารถสร้างได้จากคาร์โบไฮเดรตที่มากจากการรับประทานอาหารและคาร์โบไฮเดรตที่เก็บไว้ในเซลล์ไขมันเอง (Geddes, 1975; Cole and Eastoe, 1988; Newbrun, 1989; Scheie et al, 1992) จึงพบค่าความเป็นกรด-ด่างของแผ่นคราบจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะเป็นกรดอ่อนๆ แม้ไม่ได้บริโภคน้ำตาล มีรายงานค่าความเป็นกรด-ด่างของแผ่นคราบจุลินทรีย์ในขณะพักว่ามีค่า 6.0-6.5 (Stephan, 1940; Moore et al, 1956; Geddes, 1975; Scheie et al, 1992) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำลายมีค่า 6.0-7.8 (Stephan, 1944; Cole and Eastoe, 1988) เหตุผลที่น้ำลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในแผ่นคราบจุลินทรีย์อาจเป็นเพราะภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์มีปริมาณเชื้ออยู่มากกว่า นอกจากนั้นน้ำลายยังมีการสร้างใหม่และกำจัดอยู่ตลอดเวลา การพบแร่ธาตุภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและระยะเวลาการสะสม เรามักจะพบแร่ธาตุเมื่อแผ่นคราบจุลินทรีย์มีการตกตะกอนเป็นหินน้ำลาย โดยแร่ธาตุส่วนใหญ่ที่มักพบได้แก่ แคลเซียม ฟอสเฟต และแมกนีเซียม ซึ่งจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในน้ำลาย

อาหารแต่ละประเภทมีบทบาทต่อการเกิดฟันผุไม่เหมือนกัน มีอาหารบางประเภทที่กระตุ้นให้เกิดการไหลของน้ำลายมากขึ้นและไม่ได้เพิ่มการสร้างกรดจึงช่วยลดการเกิดฟันผุได้ จากการศึกษาของ Higham และ Edgar (1989) จัดให้อาสาสมัครเคี้ยวพาราฟิน (Paraffin) และซีสภายหลังจากบ้วนปากด้วยน้ำตาลซูโครสร้อยละ 10 พบว่าช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงไม่มากและกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นภายใน 4 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ค่าความเป็น

กรด-ต่างลดลงอย่างมากและใช้เวลานานถึง 27 นาที จึงจะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นได้ ส่วนอาหารประเภทน้ำตาลมีหลายรูปแบบ เช่น น้ำตาลฟรุคโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบได้ในผลไม้ที่มีรสหวาน น้ำตาลแลคโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่พบในน้ำนม ในแต่ละวันมนุษย์จะบริโภคน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้น้อยมาก ส่วนน้ำตาลที่มนุษย์บริโภคมากที่สุดและเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดฟันผุคือน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ระหว่างน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส อาหารประเภทแป้งเชื้อแบคทีเรียต้องใช้เวลาในการย่อยสลายให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนจึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าเป็นแป้งสุกแบคทีเรียจะย่อยสลายได้ง่ายกว่าแป้งดิบ ดังนั้นอาหารแต่ละประเภทจึงมีผลต่อการสร้างกรดออกมาในปริมาณที่ไม่เท่ากัน (Stephan, 1940; Ludwig and Bibby, 1957) (ภาพที่ 1) เมื่อบ้วนปากด้วยน้ำตาลกลูโคสหรือซูโครสจะพบว่าปริมาณและชนิดของกรดแลคติกถูกสร้างออกมาใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าความเป็นกรด-ต่างตกลงมากและไม่มี ความแตกต่างกันในน้ำตาลทั้งสองชนิด แต่เมื่อบ้วนปากด้วยน้ำตาลแลคโตสค่าความเป็นกรด-ต่างจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคส (Stephan, 1940; Geddes, 1975) ดังนั้น การเลือกรับประทานอาหารที่ไม่มีน้ำตาลหรือใช้น้ำตาลเทียมจะช่วยลดการเกิดกรดได้



ภาพที่ 1 : การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ต่างภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์ ภายหลังจาก  
รับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ

ที่มา : Neff, D. Acid production from different carbohydrate sources in human plaque in situ. *Caries Res* 1 (1967) : 78-87. (อ้างถึงใน Newbrun, 1989)

การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ต่างในแผ่นคราบจุลินทรีย์ขึ้นกับปริมาณและชนิดของกรดที่เกิดขึ้น ในสภาวะพักแผ่นคราบจุลินทรีย์จะมีความเป็นกรดเพียงเล็กน้อยโดยพบว่ามีกรดอะซิติกมากแต่กรดแลคติกน้อย แต่เมื่อได้รับน้ำตาลซูโครสจะพบว่ามีความเป็นกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจำนวนมากและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับกรดอะซิติกและกรดโพรไพโอนิก สัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ต่างที่ลดลงในแผ่นคราบจุลินทรีย์ นอกจากนี้กรดแลคติกยังมีค่าความเป็นกรด-ต่างต่ำกว่าและมีความสามารถในการแตกตัวสูงกว่ากรดชนิดอื่น (ตารางที่ 1) ทำให้กรดแลคติกเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดฟันผุ (Moore et al, 1956; Geddes, 1975; Margolis

and Moreno, 1992) การศึกษาเรื่องปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของกรดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วัดปริมาณการแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนในสารละลายโดยใช้อิเล็กโทรด วัดปริมาณกรดโดยการไทเทรต (titration) และวิเคราะห์หาชนิดของกรดด้วยวิธีแก๊สลิควิดโครมาโทกราฟี (Gas-liquid chromatography; GLC) (Stephan, 1940, 1944; Moore et al, 1956; Ludwig and Bibby, 1957; Geddes, 1972)

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการแตกตัวของกรดที่พบในแผ่นคราบจุลินทรีย์

Acid activity	Lactic acid	Acetic acid	Propionic acid
pK <sub>a</sub> (25°C)	3.86	4.76	4.87
pH	4.15	4.59	4.65

ที่มา : Geddes, D.A.M. The production of L(+) and D(-) lactic acid and volatile acid by human dental plaque and the effect of plaque buffering and acidic system strength on pH. *Archs Oral Biol* 17 (1972) : 537-545.

กราฟเส้นโค้งที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเปรียบเทียบกับระยะเวลา ตั้งแต่ภายหลังจากรับประทานอาหารจนกลับเข้าสู่สภาวะปกติ เรียกว่ากราฟเส้นโค้งของสตีเฟน (Stephan curve) ซึ่งหลายการศึกษาได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงนี้ (Stephan, 1940, 1944; Moore et al, 1956; Imfeld and Lutz, 1980; Abelson and Mandel, 1981; Higham and Edgar, 1989; Scheie et al, 1992) พบว่าลักษณะโดยทั่วไปคือ หลังจากทานน้ำตาลค่าความเป็นกรด-ด่างภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็วใน 5-10 นาที และเมื่อเวลาผ่านไปค่าความเป็นกรด-ด่างจะค่อยๆกลับสู่สภาวะเริ่มต้นใน 30-45 นาที และยังพบว่ายิ่งรับประทานน้ำตาลอย่างต่อเนื่องก็จะมีกรดเกิดขึ้นบ่อย ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาานานกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในช่องปากจะกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้น จากการศึกษาของ Geddes (1975) พบว่าแม้ปริมาณของกรดโดยรวมจะมีค่าเท่ากับสภาวะเริ่มต้นภายใน 30 นาที แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะปริมาณของกรดแลคติกแล้วจะพบว่ายังมีค่าสูงกว่าระดับปกติ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะต่ำลงมากและนานขนาดไหน ขึ้นกับอายุและความหนาของแผ่นคราบจุลินทรีย์ (Imfeld and Lutz, 1980) และยังพบความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละตำแหน่งของช่องปาก ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากการสัมผัสน้ำลายได้แตกต่างกัน เช่นฟันในขากรรไกรล่างจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าฟันในขากรรไกรบน ฟันที่อยู่ใกล้รูเปิดของต่อมน้ำลายหน้าหูจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างแปรปรวนมาก และค่าความ

เป็นกรด-ต่างของน้ำลายบริเวณพื้นช่องปากจะไม่ค่อยพบการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากบ้วนน้ำตาล (Stephan, 1944; Scheie et al, 1992)

## น้ำลาย

น้ำลายหมายถึงสารคัดหลั่งที่อยู่ในช่องปาก ในสภาวะปกติจะมีน้ำลายเคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 0.07-0.1 มิลลิเมตร บนพื้นผิวฟันและเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากกินพื้นที่ 215 ตารางเซนติเมตร โดยส่วนที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวฟันคิดเป็นร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมด (Collins and Dawes, 1987) ปริมาณน้ำลายที่หลั่งออกมามีประมาณ 600-1,000 มิลลิลิตรต่อวัน อัตราการไหลของน้ำลายขณะไม่ถูกกระตุ้นมีประมาณ 0.2-0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ขณะถูกกระตุ้นจะมีอัตราการไหลของน้ำลายประมาณ 5-7 มิลลิลิตรต่อนาที หรือบางครั้งสูงสุดได้ถึง 10 มิลลิลิตรต่อนาที ในสภาวะปกติความถี่ของการกลืนน้ำลาย  $2.3 \pm 1.3$  ครั้ง/นาที ยิ่งอัตราการไหลของน้ำลายเพิ่มมากขึ้น ความถี่ในการกลืนและปริมาณน้ำลายที่กลืนลงไปในแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นด้วย (Lagerlof and Dawes, 1984; Dawes, 2008) น้ำลายประกอบด้วยน้ำร้อยละ 99 ที่เหลือจะเป็นสารอื่นๆ โดยพบสารอินทรีย์ประมาณ 5 กรัมต่อลิตร และสารอนินทรีย์ประมาณ 2.5 กรัมต่อลิตร (Ferguson, 1988) มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.002-1.008 มีค่าความเป็นกรด-ต่างอยู่ในช่วง 6.0-7.8 (Stephan, 1944; Cole and Eastoe, 1988; Nanci, 2003) โดยทั่วไปการเก็บน้ำลายจากช่องปากจะกระตุ้นอัตราการไหลของน้ำลายโดยให้เคี้ยวพาราฟิน น้ำลายที่ได้ออกมาจะมีองค์ประกอบต่างๆมากมายตั้งแต่เศษอาหาร แร่ธาตุ เซลล์ที่ออกมาจากน้ำเหลืองเหลือง แผ่นคราบจุลินทรีย์ และเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งส่วนใหญ่ที่พบร้อยละ 70 จะเป็นเชื้อ *S.mutans* นอกจากนี้ในคนที่ไม่มีฟันปลอมและฟันจะพบเชื้อ *Lactobacillus* ในน้ำลายได้แต่มีปริมาณน้อยประมาณร้อยละ 1 ของเชื้อทั้งหมด (Ferguson, 1988) น้ำลายที่ได้มาจากแต่ละต่อมน้ำลายจะมีส่วนประกอบที่ต่างกัน (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ปริมาณแร่ธาตุภายในน้ำลายยังแตกต่างกันขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำลายด้วย โดยทั่วไปเมื่ออัตราการไหลของน้ำลายเพิ่มขึ้นจะพบว่ามีปริมาณของโซเดียมไอออน (sodium ion;  $\text{Na}^+$ ) แคลเซียมไอออน (calcium ion;  $\text{Ca}^{2+}$ ) คลอไรด์ไอออน (chloride ion;  $\text{Cl}^-$ ) ไบคาร์บอเนตไอออนหรือไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (bicarbonate ion หรือ hydrogencarbonate ion;  $\text{HCO}_3^-$ ) โปรตีน และค่าความเป็นกรด-ต่างเพิ่มขึ้น ส่วนฟอสเฟตไอออน (phosphate ion;  $\text{PO}_4^{3-}$ ) แมกนีเซียมไอออน (magnesium ion;  $\text{Mg}^{2+}$ ) และยูเรีย (urea;  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) จะมีปริมาณลดลง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบส่วนประกอบที่ได้มาจากแต่ละต่อมน้ำลาย

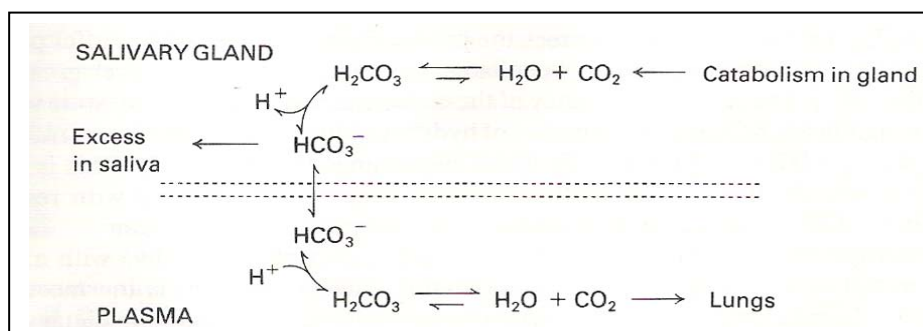
Variable	Whole				Parotid		Submandibular	
	Unstimulated		Stimulated		Unstimulated	Stimulated	Unstimulated	Stimulated
	Mean	Range	Mean	Range				
Flow rate(ml/min)		0.33-0.5	1.72	1.5-2.3	0.05	1.00	0.15	1.0
pH	6.0	5.7-6.2	Up to 8.0		5.5	7.4	6.4	7.4
Inorganic (mmol/L)								
Sodium	8	6-26	32	13-80	1.3	36	3	45
Potassium	21	13-40	22	13-38	24	21	14	17
Calcium	1.35	0.5-2.8	1.7	0.2-4.7	1.05	1.6	1.6	2.4
Magnesium	0.3	0.1-0.6	0.4	0.2-0.6	0.15	0.12	0.07	0.4
Chloride	24	8-40	25	10-56	22	28	12	25
Bicarbonate	2.9	0.1-8	20	4-40	1	30	4	18
Phosphate	5.5	2-22	10	2-25	9	4	6	5
Thiocyanate	2.5	0.4-5.0	1.2	0.4-3.0				
Iodide ( $\mu\text{mol/l}$ )			14	2-30	0.5-2.3	0.2-1.2	1	0.5
Fluoride ( $\mu\text{mol/l}$ )	1.5	0.2-2.8	5	0.8-6.3	1.5	1.0		
Organic								
Protein (g/l)			1.75		2.3		1.1	
Albumin (mg/l)			25		10		40	
$\gamma$ globulins (mg/l)			50		80		60	
Mucoproteins (g/l)			0.45		0.8		0.8	
Amylase (g/l)			0.42		1.0		0.3	
Lysozyme (g/l)			0.14		0.2			
Carbohydrate (g/l)					0.45		0.3	
Glucose (nmol/l)					0.03		0.03	
Lipid (mg/l)			20		20		20	
Cortisol (nmol/l)								
Amino acids			40		10		20	
Urea (nmol/l)					2.0-4.2		0.7-1.7	
Ammonia (nmol/l)					0.6-7.0		0.2-7.0	

ที่มา : Ferguson, D.B. Physiology for dental students. London : Butterworth & Co (publishers) Ltd, 1988: 181.

น้ำลายมีหน้าที่สำคัญหลายประการเช่น เป็นตัวหล่อลื่นช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเนื้อเยื่ออ่อน มีเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยอาหาร มีระบบภูมิคุ้มกันหลายชนิดที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเช่น อิมมูโนโกลบูลิน เอ และไทโอไซยาเนต ทำให้เชื้อที่สามารถสร้าง

กรดได้ในน้ำลายมีปริมาณน้อยกว่าภายในแผ่นคราบจุลินทรีย์ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงกว่า การไหลของน้ำลายและการกลืนจะช่วยกำจัดเศษอาหาร กรด และป้องกันการสะสมของแบคทีเรียที่มากเกินไป น้ำลายมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ช่วยป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่จะมากระทำกับเนื้อเยื่อแข็งและเนื้อเยื่ออ่อนภายในช่องปาก เชื้อแบคทีเรียและแร่ธาตุที่ผสมอยู่ในน้ำลายจะทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนแร่ธาตุสู่ฟันได้ตลอดเวลา (Cole and Eastoe, 1988; Newbrun, 1989; Meurman and ten Cate, 1996; Featherstone, 2000; Stookey, 2008) นอกจากนี้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบภายในน้ำลายสามารถทำให้เกิดการสร้างชั้นเคลือบบนผิวฟันจึงช่วยลดการสัมผัสฟันผิวโดยตรงจากกรด ส่งผลให้การสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้นได้ช้าลง (Lendenmann et al, 2000; Hara et al, 2006) ภายในน้ำลายไม่ได้มีแคลเซียมและฟอสเฟตไอออนอยู่มากพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้เอง (spontaneous precipitation) แต่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดของไอออนร่วมกับภายในช่องปากมีความเป็นต่างมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดไอออนของแคลเซียมละลายตัวได้น้อยลง เกิดการตกตะกอนเป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต ไดไฮเดรต (dicalcium phosphate dihydrate;  $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$ ) แทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนของฟันที่สูญเสียแร่ธาตุหรืออาจตกตะกอนอยู่ในแผ่นคราบจุลินทรีย์ (Cole and Eastoe, 1988)

ภายในน้ำลายมีระบบบัฟเฟอร์หลายชนิดคือ ระบบกรดคาร์บอนิก (carbonic acid system;  $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ระบบฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer system;  $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) และแอมโมเนียมไอออน (ammonium ion;  $\text{NH}_4^+$ ) โดยระบบกรดคาร์บอนิกจะมีความสำคัญมากที่สุดในระบบบัฟเฟอร์ของน้ำลาย (Bardow et al, 2000) เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของน้ำลายเพิ่มขึ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ในต่อมน้ำลายจะสูงขึ้นทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำพอรวมกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก จากนั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้เป็นไบคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนไอออน เมื่อไบคาร์บอเนตไอออนถูกขับออกสู่น้ำลายจะไปรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนของกรด ได้เป็นกรดคาร์บอนิกแล้วเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ในรูปที่ละลายน้ำขนส่งไปยังปอดแล้วขับออกตอนหายใจ (ภาพที่ 2) ส่งผลให้น้ำลายมีความเป็นต่างมากขึ้น นอกจากนั้นอัตราการไหลของน้ำลายยังสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตไอออน ทำให้เมื่ออัตราการไหลของน้ำลายเพิ่มขึ้นจึงยิ่งเพิ่มคุณสมบัติของระบบบัฟเฟอร์และมีแนวโน้มฟันผุจะลดลง (Ferguson, 1988; Cole and Eastoe, 1988) ส่วนระบบฟอสเฟตบัฟเฟอร์จะพบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในสภาวะไม่ถูกกระตุ้นจะมีค่ามากกว่าในสภาวะถูกกระตุ้น สามารถพบฟอสเฟตไอออนได้หลายรูปขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลาย เช่น  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  แต่ละรูปแบบสามารถรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนของกรดได้



ภาพที่ 2 การหลังของไบคาร์บอเนตไอออนในน้ำลาย

ที่มา : Cole, A.S., and Eastoe, J.E. Biochemistry and oral biology. 2<sup>nd</sup>ed. London : Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1988: 481.

### ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ เคลือบฟัน และการสูญเสียแร่ธาตุ

ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารอนินทรีย์หลักที่พบได้ในเคลือบฟัน เนื้อฟัน เคลือบรากฟัน และกระดูก ในแต่ละส่วนของโครงสร้างฟันจะมีขนาดของผลึกและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) ไฮดรอกซีอะพาไทต์มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  (น้ำหนักโมเลกุล = 502.31 g/mol) แต่นิยมเขียนเป็น  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  เนื่องจาก 1 ยูนิทเซลล์ประกอบด้วย 2 โมเลกุลและมีอัตราส่วนระหว่างแคลเซียม-ฟอสฟอรัส (Ca/P) = 1.67 ผลึกที่โตเต็มที่จะมีรูปร่างเป็นหกเหลี่ยม (hexagonal crystal) ถ้าพิจารณาจากการแตกตัวที่สามารถให้ไฮดรอกไซด์ไอออนได้ไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีคุณสมบัติเป็นด่างตามนิยามของอาร์เรเนียส การศึกษาของ Featherstone (2000) กล่าวว่าไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถถูกแทนที่ด้วยฟลูออไรด์ไอออนหรือคาร์บอเนตไอออน ทำให้ได้ฟลูออรีอะพาไทต์ที่มีคุณสมบัติต้านทานการละลายจากกรดได้ดีกว่าคาร์บอเนตไฮดรอกซีอะพาไทต์และไฮดรอกซีอะพาไทต์ Chester, del Vigo และ Darton (2007) เชื่อว่าผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีการละลายตัวลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 4.2-4.5 ในขณะที่ผลึกฟลูออรีอะพาไทต์จะมีคุณสมบัติการละลายตัวต่ำกว่าแม้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 จากการศึกษาของ Cole และ Eastoe (1988) พบว่าความหนาแน่นของคาร์บอเนตบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟันมีค่าร้อยละ 3.9 ส่วนความหนาแน่นของคาร์บอเนตบริเวณพื้นผิวด้านนอกเคลือบฟันมีค่าร้อยละ 2.25 ทำให้เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจึงพบการละลายตัวของผลึกในบริเวณที่มีคาร์บอเนตปริมาณมากและพบฟันผุในผิวด้านใต้เคลือบฟันก่อน นอกจากนั้นอาจเป็นเพราะพื้นผิวด้านนอกของเคลือบฟันมีการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับแร่ธาตุเกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้มีความแข็งผิว ความหนาแน่นของแร่ธาตุมากกว่าและมีความพรุนน้อยกว่าผิวด้านใต้เคลือบฟัน



ส่งผลให้พบเฉพาะรอยโรคด้านใต้เคลือบฟันก่อน (Margolis et al, 1999; Berkovitz, Holland and Moxham, 2002)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบภายในโครงสร้างฟัน และขนาดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์

องค์ประกอบ	สารอินทรีย์ (% by wt)	สารอินทรีย์ (% by wt)	น้ำ (% by wt)	ขนาดผลึก (nm)
เคลือบฟัน	95	1-3	2-4	70 x 25
เนื้อฟัน	70	20	10	35 x 10
เคลือบรากฟัน	65	23	12	55 x 8

ที่มา : Berkovitz, B.K.B., Holland, G.R., and Moxham, B.J. Oral Anatomy Embryology and Histology. 3<sup>rd</sup> ed. St. Louis : Mosby, 2002.

เคลือบฟันมีโครงสร้างหลักเป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 95-96 โดยน้ำหนัก ผลึกมีขนาดใหญ่กว่าในเนื้อฟันและเคลือบรากฟัน โดยมีความกว้าง 70 นาโนเมตร ความหนา 25 นาโนเมตร และมีความยาวมากซึ่งบางครั้งทอดยาวตลอดความหนาของเคลือบฟัน ในขณะที่เนื้อฟันผลึกมีขนาด 35x10x100 นาโนเมตร แทรกอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนและเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทำให้เนื้อฟันมีลักษณะนิ่มมากกว่า นอกจากนั้นลักษณะโครงสร้างที่มีต่อเนื้อฟันอยู่เป็นจำนวนมากจึงทำให้กรดแทรกซึมลงไปสู่โพรงฟันได้ง่ายกว่าและเกิดการละลายแร่ธาตุได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเคลือบฟัน (Yardeni, 1952; Cole and Eastoe, 1988; Berkovitz et al, 2002) จากการศึกษาของ Thylstrup และ Fejerskov (1994) และ Kidd (2005) กล่าวว่าผลึกภายในเคลือบฟันมีการจัดเรียงตัวเป็นแถวอย่างเป็นระเบียบ แต่ละผลึกจะถูกแยกกันด้วยช่องว่าง (intercrystalline space) ภายในประกอบด้วยสารอินทรีย์และน้ำที่ระเหยตัวได้ยากดังนั้นช่องนี้จึงถือเป็นรูพรุนขนาดเล็ก (micro pores) ที่อยู่ภายในเคลือบฟัน เมื่อกรดแทรกซึมผ่านช่องว่างจะทำให้มีการละลายแร่ธาตุออกมาจากขอบของผลึกก่อน ผลึกมีขนาดเล็ก ช่องว่างระหว่างผลึกกว้างขึ้นซึ่งถือเป็นการเพิ่มขนาดรูพรุนภายในเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้ในทางคลินิกเมื่อเป่าฟันให้แห้งจะเห็นเคลือบฟันมีความทึบแสงเพิ่มขึ้นเรียกว่ารอยโรคจุดขาว (white spot lesion) เนื่องจากการสะท้อนแสงและการส่องผ่านของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อกำจัดน้ำออกจากรูพรุน ส่วนวิธีการอื่นที่สามารถใช้วิเคราะห์การสูญเสียแร่ธาตุจากฟันเช่น การศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy) จะเห็นการหักเหแสงเป็น 4 เขตคือ surface zone, body zone, dark zone และ translucent zone เนื่องจากในแต่ละชั้นจะมี

ระดับความพรุนที่ต่างกัน ส่วนการวิเคราะห์ด้วยภาพจุลกายวิภาครังสี (microradiograph) จะพิจารณาจากความหนาแน่นของแร่ธาตุที่เปลี่ยนแปลงไป บริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุมากจะเห็นเป็นลักษณะพื้นที่โปร่งรังสี (radiolucent) ส่วนบริเวณปกติหรือที่มีการคืนกลับแร่ธาตุจะเห็นเป็นพื้นที่ทึบรังสี (radiopaque) ทั้ง 2 วิธีนี้สามารถหาปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุโดยทำการวัดความลึกของการลุกลามของรอยโรคที่เกิดขึ้นบนภาพที่ปรากฏ (Wefel and Harless; 1984; Margolis et al, 1985) และการถ่ายภาพรังสีเอกซเรย์เพื่อดูลักษณะของสภาพการที่รังสีที่เปลี่ยนไปเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (เพ็ญชชา เจริญพานิช, 2545) ถึงอย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยวิธีเหล่านี้จะไม่สามารถวัดความแตกต่างได้ถ้ามีการสูญเสียแร่ธาตุออกจากพื้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการอาจวิเคราะห์อัตราการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization rate) ของชั้นฟันโดยพิจารณาบนพื้นฐานที่ว่ากรดจะทำให้ฟันเกิดการสลาย ทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา (Yardeni, 1952; Piemjai et al, 2004) หรืออาจวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกซีอะปาทิตและฟอสฟอรัสไฮดรอกซีอะปาทิตที่สลายออกมาในสารละลายด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของแร่ธาตุและวิธีการย้อมสีแร่ธาตุ (colorimetric technique) (Attin et al, 2005a) ตามลำดับ อีกวิธีที่นิยมใช้ศึกษาการสึกกร่อนของผิวเคลือบฟันคือการใช้เครื่องวัดความหยาบของพื้นผิว (profilometer) ซึ่งจะตรวจวัด (scan) พื้นผิวที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเปรียบเทียบกับบริเวณผิวปกติแล้วคำนวณเป็นค่าความลึกที่เกิดขึ้น (Margolis et al, 1985; Attin et al, 2005b)

รูปแบบการสูญเสียแร่ธาตุของฟันภายหลังจากสัมผัสกรดจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ (Yardeni, 1952; Nanci, 2003) ได้แก่ ความหนาแน่นของโครงสร้างผลึกเช่นภายในเคลือบฟันผลึกเรียงตัวชิดกันแน่นมากกว่าในเนื้อฟันทำให้เคลือบฟันเกิดการละลายตัวได้ยากกว่า ขึ้นกับขนาดของผลึกถ้ามีขนาดใหญ่จะเกิดการละลายตัวได้ช้ากว่าผลึกที่มีขนาดเล็ก ขึ้นกับความกว้างของช่องว่างที่กรดจะสามารถแทรกซึมลงไปได้ นอกจากนั้นยังขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของผลึกโดยพบว่าผลึกจะเกิดการละลายตัวจากส่วนปลายได้มากกว่าส่วนด้านข้าง ทำให้ผลึกที่เรียงตัวตั้งฉากกับผิวเคลือบฟันจึงเกิดการละลายตัวได้มากกว่า จากการศึกษาของอรอุษา วลีพิทักษ์เดช (2548) ที่ใช้เรซินชนิดโฟร์เมตา เอ็มเอ็มเอทีบีบี (4-META/MMA-TBB) ทำการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 1 ในกรดซิตริกร้อยละ 1 (1-1) เป็นเวลา 10-60 วินาที จะพบชั้นไฮบริดที่มีลักษณะต่อเนื่องและหนา 1-2 ไมครอน จากการศึกษาของ Nakabayashi (1982) กล่าวอ้างถึงใน Nakabayashi and Pashley, (1998) พบว่าผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกห่อหุ้มด้วยเรซินในลักษณะนี้สามารถต้านการละลายจากกรดได้เป็นอย่างดี และเป็นวิธีที่เชื่อถือได้ว่าสามารถป้องกันการรั่วซึมระดับไมโครเมตรและระดับนาโนเมตร (Piemjai et al, 2004, 2010) จึงน่าจะสามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุออกจากฟันได้ด้วย

## แบบจำลองการเกิดฟันผุ และการเตรียมขึ้นฟัน

การสร้างแบบจำลองการเกิดฟันผุสามารถทำได้โดยใช้เชื้อแบคทีเรียและสารเคมี แต่การสร้างฟันผุด้วยสารเคมีจะมีข้อดีกว่าเนื่องจากสามารถตัดตัวแปรภายนอกออกไปได้เช่น การให้อาหารแก่เชื้อและการเจริญของเชื้อ นอกจากนี้การใช้สารเคมียังสามารถสร้างฟันผุได้ในระยะเวลาอันสั้นและประหยัดค่าใช้จ่าย การศึกษาของ Wefel และ Harless (1984) ได้เปรียบเทียบรอยฟันผุที่สร้างขึ้นจากสารเคมี 3 วิธี ได้แก่ acid-gel system, diphosphonate inhibitor system และ partially saturated buffers system พบว่า acid-gel system เป็นระบบที่ให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะฟันผุในเคลือบฟันตามธรรมชาติมากที่สุด เนื่องจากความหนืดของเจลจะจำกัดการเคลื่อนย้ายของไอออนที่ผ่านเข้าออกเคลือบฟันคล้ายกับการมีชั้นเคลือบของน้ำลาย สอดคล้องกับการศึกษาของ Margolis และคณะ (1985) ที่กล่าวว่ารอยโรคที่เกิดขึ้นจาก acid-gel system จะมีชั้น dark zone เพราะความหนืดของเจลจะค่อยๆทำให้เกิดรอยโรค แต่ถ้าเป็น partially saturated buffers system รอยโรคจะเกิดได้เร็วกว่าทำให้ไม่พบลักษณะของชั้น dark zone ส่วนการศึกษาของ Wefel, Heilman และ Jordan (1995) ที่เปรียบเทียบระบบจำลองการเกิดฟันผุที่รากฟันด้วยวิธี partially saturated buffers system ที่แช่ฟันนาน 7 วัน และ gelatin-gel system ที่แช่ฟันนาน 6 สัปดาห์ พบว่าทั้ง 2 ระบบทำให้เกิดฟันผุที่รากฟันได้เหมือนกันในธรรมชาติทั้งคู่ แต่ระบบบัฟเฟอร์มีข้อดีกว่าเนื่องจากใช้เวลาแช่ฟันสั้นกว่าและเตรียมสารง่ายกว่า จากการศึกษาของ Margolis และคณะ (1985, 1999) พบว่าสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างระบบจำลองการเกิดฟันผุด้วยวิธี partially saturated buffers system คือคุณสมบัติทางเคมีของกรดที่เลือกใช้และระดับการอิมมิตัวของแร่ธาตุภายในสารละลาย เพราะอัตราการสูญเสียแร่ธาตุจะแปรผันตามความแรงของกรดที่ใช้ (ความเข้มข้น pH pK) แต่แปรผกผันกับระดับความอิมมิตัวของสารละลายเช่น พบการสูญเสียแร่ธาตุของชั้นฟันที่แช่ในกรดอะซิติกใกล้เคียงกับการแช่ในกรดโพโรฟออนิก แต่การสูญเสียแร่ธาตุจะมากกว่าอย่างชัดเจนเมื่อแช่ชั้นฟันในกรดแลคติก กรณีที่ความแรงของกรดนั้นเท่ากันและมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.3 จะพบการสูญเสียแร่ธาตุของฟันมากจนเกิดเป็นโพรงฟันผุเมื่อแช่ชั้นฟันในสารละลายที่มีระดับการอิมมิตัวของแร่ธาตุน้อย แต่กลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ หรือเป็นแค່รอยโรคจุดขาวเมื่อแช่ชั้นฟันไว้ในสารละลายที่มีระดับการอิมมิตัวของแร่ธาตุมาก

ก่อนที่จะนำฟันมาใช้ทดสอบในแบบจำลองการเกิดฟันผุควรนำฟันที่ถอนฟันออกมาผ่านกระบวนการทำลายเชื้อ (disinfection) เพื่อลดการแพร่กระจายเชื้อโรคและควบคุมเชื้อซึ่งอาจจะมีผลต่อการทดลอง สารเคมีที่มีฤทธิ์ทำลายเชื้อโดยเรียงจากระดับปานกลางถึงระดับสูงเช่น เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 แช่นาน 10 นาที มีฤทธิ์ทำลายเชื้อแต่ไม่ทำลายสปอร์ กลูตาโรลดีไฮด์ร้อยละ 2 แช่นาน 30 นาที มีฤทธิ์ทำลายเชื้อแต่ไม่ทำลายสปอร์ แต่ถ้าแช่นาน 10 ชั่วโมง จะ

สามารถทำลายเชื้อทุกชนิดรวมทั้งสปอร์ด้วย พอร์มาลินร้อยละ 10 แช่นาน 1 สัปดาห์ สามารถทำลายเชื้อทุกชนิดรวมทั้งสปอร์ และไฮโปคลอไรด์ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของคลอรีน (Toro et al, 2000; Nikita, Vidya and Sham, 2007) นอกจากนี้เรื่องฤทธิ์การทำลายเชื้อแล้วสิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกอย่างคือวิธีการที่เลือกใช้ไม่ควรทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับโครงสร้างพื้น จากการศึกษานี้ของ Jeong และคณะ (2008) พบว่าความแข็งแรงผิวของชั้นเคลือบพื้นวามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยเรียงจากมากไปน้อยเมื่อชั้นพื้นแช่ในน้ำเกลือ น้ำกลั่น และสารละลายไทมอลร้อยละ 0.1 ส่วนชั้นพื้นที่แช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 ค่าความแข็งแรงผิวลดลงเพียงร้อยละ 1 แต่ชั้นพื้นที่แช่ในน้ำกลั่นแช่เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะมีความแข็งแรงผิวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 จากการศึกษาของ Amaechi, Higham และ Edgar (1998) และ Chandler (1990) พบว่าการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยวิธีการใช้รังสีแกมมา (gamma irradiation; ~ 25 kGy) เครื่องหนึ่งอัตโนมัติ (121 °C นาน 15 นาที) การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร้อยละ 12 นาน 24 ชั่วโมง และการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไฮโอตินร้อยละ 7.5 นาน 24 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ Bacilli แต่กลับพบว่าวิธีเหล่านี้มีผลต่อพื้นผิวเคลือบพื้นแตกต่างกันคือ รังสีแกมมาจะทำให้ผิวเคลือบพื้นเปลี่ยนเป็นสีครีมเนื่องจากมีการทำลายส่วนของอินทรีย์สาร สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ทำให้พื้นขาวขึ้นจากการไปกำจัดส่วนอินทรีย์สารที่เป็นโปรตีนออกมา สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไฮโอตินทำให้เคลือบพื้นมีลักษณะของรอยโรคจุดขาวเนื่องจากสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.3 และเครื่องหนึ่งอัตโนมัติจะทำให้เคลือบพื้นอ่อนลงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อโครงสร้างขนาดเล็กภายใน จากการวิเคราะห์ชนิดของเชื้อที่ขึ้นในกลุ่มควบคุมเป็นเพียงเชื้อจากผิวหนังซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างการเตรียมชิ้นตัวอย่าง ดังนั้นถ้าภายหลังถอนพื้นเก็บพื้นไว้ในสารละลายไทมอลร้อยละ 0.1 และในระหว่างการเตรียมชิ้นตัวอย่างทำงานภายใต้การใส่ถุงมือปราศจากเชื้อก็อาจจะไม่มีความจำเป็นต้องใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยวิธีการอื่น

### การวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมไอออนภายในสารละลาย

เคลือบพื้นเป็นเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบของผลึกแร่ธาตุแคลเซียม ฟอสเฟตอยู่ถึงร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนของแคลเซียมอยู่ร้อยละ 34-39 และฟอสฟอรัสร้อยละ 16-18 ดังนั้นเมื่อผิวเคลือบพื้นสัมผัสกับกรดจะทำให้มีการละลายแร่ธาตุออกมาสู่สารละลาย (Attin et al, 2005a; Kidd, 2005) หลายการศึกษาได้แนะนำถึงกระบวนการหาปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายที่แตกต่างกัน เช่น การเจือจางสารละลายตัวอย่างแล้ววัดด้วยแคลเซียมอิเล็กโทรด (Meyer-Lueckel, Chatzidakis and Kielbassa, 2007) การวิเคราะห์หาแคลเซียมโดยการไตเตรท

(Ferrazzano, Cantile and Quarto, 2008) การวิเคราะห์ด้วยการย้อมสีแร่ธาตุ (colorimetric assay) (Smith and Bauer, 1979) และการวิเคราะห์สเปกตรัมของแร่ธาตุ (Attin et al, 2005a) ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือวิธีการวัดการดูดกลืนแสงและวิธีการวัดการคายพลังงานของแสง

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) อาศัยหลักการวัดการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะกับอะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุหรืออะตอมที่เราต้องการทราบ กรณีสารละลายมีแคลเซียม-ฟอสเฟตผสมกันอยู่ อะตอมของฟอสเฟตจะไปขัดขวางการดูดกลืนแสงของอะตอมแคลเซียมทำให้วัดค่าความเข้มข้นของแคลเซียมได้น้อยลง ดังนั้นจึงต้องมีการผสมสารแลนทานัม (Lanthanum) ลงไปในสารละลายอย่างน้อย 10,000 ส่วนในล้านส่วน เพื่อให้สารนี้ไปจับกับฟอสเฟตแล้วปล่อยแคลเซียมอะตอมออกมา (Welch, Hamar and Fettman, 1990; Mendham et al, 2000)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอ ซี พี สเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, ICPS) หลักการของเครื่องคือใช้พลาสมาเผาตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออน ซึ่งจะปล่อยแสงสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวของธาตุนั้นๆออกมา เครื่องจะมีสเปกโตรมิเตอร์คอยแยกแสงตามความยาวคลื่นและทำการวัดความเข้มของแสงนั้น จากนั้นจะคำนวณเป็นความเข้มข้นของปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง เครื่องมือชนิดนี้สามารถวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่มีปริมาณน้อยระดับส่วนในพันล้านส่วน (ppb) และส่วนในล้านส่วน (ppm) รวมทั้งวิเคราะห์ได้หลายๆธาตุในขณะเดียวกัน (simultaneous multielements analysis) โดยใช้เวลาไม่ถึงนาที แต่ถ้าสารตัวอย่างอยู่ในรูปของแข็งต้องผ่านการเตรียมให้กลายเป็นสารละลายที่ไม่มีตะกอนก่อน โดยทำการย่อยตัวอย่างด้วยเทคนิคการใช้กรดที่เหมาะสม (acid digestion)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ประชากร

ฟันตัดซี่กลางของวัวที่ถอนออกมาไม่เกิน 6 เดือน (ISO/TS 11405: 2003) ทำความสะอาดโดยล้างคราบเลือด น้ำลาย และกำจัดเนื้อเยื่อต่างๆที่ติดอยู่บนรากฟันออกด้วยใบมีด คัดเลือกฟันที่ไม่มีรอยผุหรือสึกด้านใกล้แก้ม ขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 70 ซี่ ภายหลังจากถอนเก็บรักษาฟันไว้ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

#### เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

##### 1. การเตรียมชิ้นตัวอย่างจากฟันที่คัดเลือกไว้

นำฟันวัวมายึดกับเครื่องกรอตัดฟันความเร็วต่ำ (Isomet 1000; Buehler, Lake Bluff, IL, USA) ที่มีน้ำหล่อตลอดเวลา กรอตัดตามแนวขวางโดยเริ่มตั้งแต่ส่วนปลายฟันให้แต่ละซี่กว้างอย่างน้อย 8.0 มิลลิเมตร จากนั้นขัดเนื้อฟันและเคลือบฟันด้านใกล้ลิ้นออกด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 400 แล้วกรอเนื้อฟันที่เหลือออกจนหมดด้วยหัวกรอจากเพชรรูปกรวยและรูปทรงกลมร่วมกับด้ามกรอฟันแบบเร็วและด้ามกรอฟันแบบช้า เพื่อให้เหลือเฉพาะส่วนเคลือบฟันด้านใกล้แก้ม จากนั้นกำหนดขนาดพื้นผิวเคลือบฟันบริเวณที่จะทำการทดสอบโดยการติดกระดาษกาว 1 หน้า ที่มีความกว้าง 5.0 มิลลิเมตร ความยาว 7.0 มิลลิเมตร แล้วจึงกรอตัดฟันให้ได้ตามขอบเขตด้วยหัวกรอเร็วจากเพชรรูปทรงกระบอก (ภาพที่ 3) นำชิ้นเคลือบฟันที่ได้ไปทำความสะอาดด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูง (Transsonic digitals, Elma, Hohentwiel, Germany) ร่วมกับน้ำปราศจากไอออนนาน 10 นาที ซับชิ้นตัวอย่างให้แห้งร่วมกับเป่าด้วยกระบอกฉีดรวมนาน 1 นาที แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้นด้วยเครื่องชั่งชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance, BP110S, Sartorius, Gottingen, Germany) และวัดขนาดซ้ำด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ดิจิทัล (Mitutoyo, Tokyo, Japan) ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 246 ชิ้น ต้องมีขนาดความกว้าง  $5.0 \pm 0.5$  มิลลิเมตร ความยาว  $7.0 \pm 0.5$  มิลลิเมตร และความหนา  $1.0 \pm 0.3$  มิลลิเมตร พื้นผิวด้านในไม่มีเนื้อฟันหลงเหลืออยู่ และน้ำหนักอยู่ในช่วง  $110 \pm 30$  มิลลิกรัม



ภาพที่ 3 การเตรียมชิ้นตัวอย่างเคลือบพื้นจากพื้นตัดซี่กลางของวุ้น

## 2. การจัดกลุ่มตัวอย่างเข้าศึกษา

ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบง่ายเพื่อจัดชิ้นตัวอย่างเข้า 5 กลุ่มศึกษา กลุ่มละ 48 ชิ้น ยกเว้นกลุ่มที่ 5 จะมี 54 ชิ้น ทุกกลุ่มจะแช่ชิ้นตัวอย่างไว้ในสารละลายทั้งหมด 8 ช่วงเวลา คือ 5 นาที 15 นาที 30 นาที 1 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 3 วัน และ 7 วัน ช่วงเวลาละ 6 ชิ้น โดยกลุ่มที่ 5 จะเพิ่มชิ้นตัวอย่างไว้สำหรับเป็นกลุ่มควบคุม 6 ชิ้น ซึ่งแช่ในน้ำลายเทียมช่วงเวลาละ 2 ชั่วโมง 5 นาที 1 วัน และ 7 วัน เพื่อใช้เปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (สรุปดังภาพที่ 4)

กลุ่มทดลองทั้ง 5 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 แช่ชิ้นตัวอย่างในสารละลายกรดแลคติก
- กลุ่มที่ 2 แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำลายเทียม
- กลุ่มที่ 3 แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติก
- กลุ่มที่ 4 แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติกและมีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรกระจายตัวอยู่ในสารละลาย
- กลุ่มที่ 5 แช่ชิ้นตัวอย่างที่ถูกเคลือบด้วยเรซินในน้ำลายเทียมที่ผสมกรดแลคติก
- กลุ่มควบคุม คือสารละลายของแต่ละกลุ่มที่ไม่ได้มีการแช่ชิ้นตัวอย่างจะมีช่วงเวลาละ 6 ชั่วโมง ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณแคลเซียมไอออนเมื่อสิ้นสุดเวลาการทดลองกับกลุ่มทดสอบ

3. การเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ถูกเคลือบด้วยเรซินของกลุ่มที่ 5 เตรียมโดย
  - นำชิ้นตัวอย่างจุ่มในสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 10 เป็นเวลา 60 วินาที ล้างออกด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 วินาที ซับด้วยกระดาษทิชชู 10 วินาที จากนั้นเป่าชิ้นตัวอย่างให้แห้งทุกด้าน 10 วินาที จนเห็นเป็นผ้าขาว
  - แช่ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวให้ชุ่มด้วยส่วนผสมของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี ซึ่งเป็นส่วนผสมของมอนอเมอร์ 4 หยดกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1 หยด (4-META/ MMA-TBB) จากนั้นนำส่วนผสมของซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บีประเภทที่บดแสงมาทาให้ทั่ว ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน ทาซ้ำ 2 ชั้น
  - นำชิ้นตัวอย่างตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์นาน 10 นาที ก่อนนำมาทดลอง ต้องตั้งชิ้นตัวอย่างที่ถูกเคลือบด้วยเรซินไว้อย่างน้อย 1 สัปดาห์ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก
4. ส่วนชิ้นตัวอย่างและภาชนะที่ใส่สารละลายในวันทดลองจะทำลายเชื้อโดยการแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 นาน 10 นาที จากนั้นซับให้แห้งด้วยผ้าก๊อชปราศจากเชื้อ (Toro et al, 2000)
5. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง
  - สารละลายแต่ละภาชนะต้องผสมใหม่ก่อนเริ่มทำการทดลอง โดยแช่ชิ้นตัวอย่างไว้ในสารละลายหลัก 10 มิลลิลิตร (Lagerlof and Dawes, 1984) จากนั้นจึงหยดกรดแลคติกร้อยละ 85 ลงไป 57 ไมโครลิตร (ความเข้มข้นของกรดในสารละลายเท่ากับ 0.07 โมลาร์) (Ludwig and Bibby, 1957; Margolis and Moreno, 1992) เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร (Vortex Genies 2, Scientific industries, Hayward, USA) เป็นเวลา 10 วินาที ในระหว่างการทดลองวางภาชนะไว้บนพื้นราบ เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Orbital incubation รุ่น SI 50, Stuart, Leicester, UK) 37 องศาเซลเซียส จับเวลาการทดลองตั้งแต่เริ่มเขย่าสารละลาย
  - ไฮดรอกซีอะพาไทต์ต้องเตรียมให้กระจายตัวอยู่ในน้ำปราศจากไอออนก่อน โดยใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ 0.03 กรัม ผสมเข้ากับน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน 10 วินาที



## 6. วิธีการทดลอง

- กลุ่มที่ 1 แซ่ซึ้นตัวอย่าง 1 ซึ้น ในสารละลายกรดแลคติก 10 มิลลิลิตร เตรียมโดยแซ่ซึ้นตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายกรดแลคติกร้อยละ 85 ลงไป 57 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน 10 วินาที
- กลุ่มที่ 2 แซ่ซึ้นตัวอย่าง 1 ซึ้น ในน้ำลายเทียม 10 มิลลิลิตร
- กลุ่มที่ 3 แซ่ซึ้นตัวอย่าง 1 ซึ้น ในน้ำลายเทียม 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายกรดแลคติกร้อยละ 85 ลงไป 57 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน 10 วินาที
- กลุ่มที่ 4 แซ่ซึ้นตัวอย่าง 1 ซึ้น ในน้ำลายเทียม 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายกรดแลคติกร้อยละ 85 ลงไป 57 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน 10 วินาที แล้วเทสารละลายที่มีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์แขวนลอยอยู่ตามลงไป เขย่าต่ออีก 10 วินาที
- กลุ่มที่ 5 แซ่ซึ้นตัวอย่างที่ถูกเคลือบด้วยเรซิน 1 ซึ้น ในน้ำลายเทียม 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายกรดแลคติกร้อยละ 85 ลงไป 57 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน 10 วินาที

## การเก็บรวบรวมข้อมูล

### ตอนที่ 1 หาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของซึ้นตัวอย่าง

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาแยกซึ้นตัวอย่างออกจากสารละลายนำไปแช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร ทำความสะอาดด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงนาน 1 นาที (Eisenburger et al, 2000) ซับน้ำส่วนเกินและเป่าแห้งด้วยกระบอกฉีดรวมนาน 1 นาที สูดทำยั้งหาน้ำหนักซึ้นตัวอย่างแล้วคำนวณเป็นค่าร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง

$$\% \text{ Wt change} = \frac{\text{Wt before} - \text{Wt after}}{\text{Wt before}} \times 100$$

### ตอนที่ 2 หาปริมาณแคลเซียมไอออนที่สลายออกมาภายในสารละลาย

ขวดทดลองในช่วง 5 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 3 วัน และ 7 วัน เขย่าสารละลายให้เข้ากัน 10 วินาที แล้วดูดสารตัวอย่างมาเจือจางในหลอดทดลองที่มีสารละลายผสมของแลนธานัมคลอไรด์ร้อยละ 1 กับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.06 โมลาร์ (1% LaCl<sub>3</sub> 0.06 M HCl) (ประยุกต์จาก

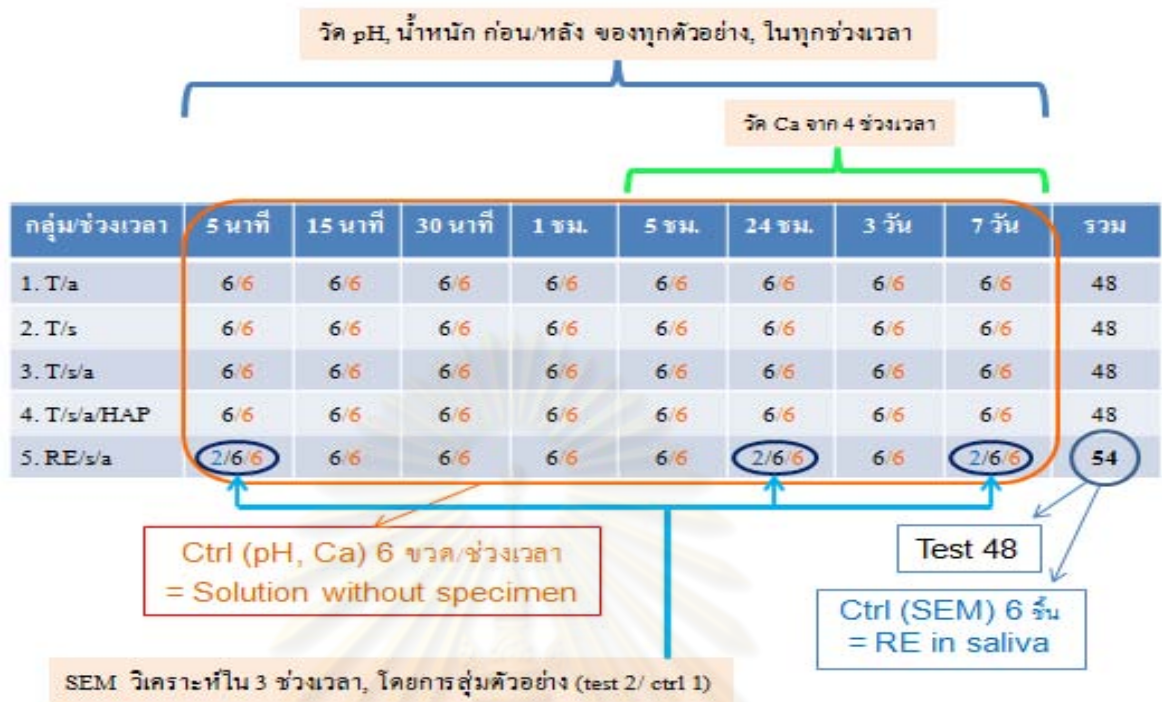
Moreno and Margolis, 1988) สารละลายในกลุ่ม 1, 2, 3 และ 5 จะถูกดูดสารขึ้นมาจากวอลละ 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปเจือจาง 10 เท่า ส่วนสารละลายในกลุ่ม 4 จะถูกดูดสารขึ้นมาจากวอลละ 20 ไมโครลิตร เพื่อนำไปเจือจาง 200 เท่า เมื่อเตรียมหลอดตัวอย่างแล้วจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องไอ ซี พี สเปกโตรมิเตอร์ (ICP-OES spectrometers, Optima 7300 DV, PerkinElmer Inc., USA) วัดผลออกมาเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm)

### ตอนที่ 3 วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter รุ่น 420A, ATI Orion, Boston, USA.) โดยภายหลังจากทำความสะอาดหัวอิเล็กโทรดและซับแห้งแล้ว จะนำหัวอิเล็กโทรดจุ่มในภาชนะที่มีสารละลายจับเวลา 3 นาทีแล้วจึงบันทึกค่า

### ตอนที่ 4 การตรวจสอบชั้นเชื่อมต่อก่อนขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 5

ขึ้นตัวอย่างในช่วงเวลา 5 นาที 24 ชั่วโมง และ 7 วัน จะถูกสุ่มออกมาช่วงเวลาระยะ 3 ชั้น เป็นชั้นทดลอง 2 ชั้น ชั้นควบคุม 1 ชั้น ( $3 \times 3 = 9$  ชั้น) (สรุปดังภาพที่ 4) เพื่อนำไปศึกษาลักษณะของชั้นไฮบริดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด วิธีการเตรียมขึ้นตัวอย่างทำโดยกรอบเครื่องพิมพ์ตามแนวขวางด้วยเครื่องกรอพื้นแบบเร็วให้ได้ชั้นตัวอย่างขรุขระและซ้าย นำด้านที่กรอตัดของทั้ง 2 ชั้นมาขัดให้เรียบด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 600 และ 1200 แล้วขัดซ้ำด้วยผงขัดอะลูมินาขนาด 0.05 ไมครอน สุดท้ายนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำขึ้นตัวอย่างข้างขวาไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 โมลาร์ เป็นเวลา 30 วินาที (Nakabayashi and Pashley, 1998) ล้างน้ำและซับแห้งแล้วจึงนำขึ้นตัวอย่างทั้งขวาและซ้ายเข้าตู้ดูดความชื้นทิ้งไว้ให้ค่อยๆแห้งเป็นเวลา 2 วัน สุดท้ายจึงเคลือบผิวด้วยทองคำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 35-5000 เท่า จะศึกษาชั้นเชื่อมต่อบริเวณสารยึดเรซินชนิดไฟร์เมตาเอมเอเอ็มเอทีบีบีกับผิวเคลือบฟันใน 2 ลักษณะคือภายหลังจากการขัดเรียบขัดมัน และภายหลังจากการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก



คำย่อ : T= tooth . s = saliva . a = acid . HAP = hydroxyl apatite . RE = resin enamel . ctrl = control

ภาพที่ 4 สรุปการจัดกลุ่มตัวอย่างเข้าศึกษา และการเก็บรวบรวมข้อมูล

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้มีตัวแปรดังนี้คือ

1. ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นมี 2 ตัว คือ
  - 1.1 กลุ่มสารละลายที่แตกต่างกัน 5 กลุ่ม
  - 1.2 ระยะเวลาการแช่ชิ้นตัวอย่างทั้งหมด 8 ช่วงเวลา
2. ตัวแปรตามหรือปัจจัยมี 3 ตัว คือ
  - 2.1 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน
  - 2.2 ปริมาณแคลเซียมไอออนภายในสารละลาย
  - 2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical package for the social sciences plus) version 16 โดยตรวจสอบการกระจายของข้อมูลก่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ด้วยสถิติโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Siminov test) ถ้าประชากรมีการกระจายของข้อมูลแบบไม่ปกติจะทำการทดสอบด้วยสถิติไนน พาราเมตริกซ์ชนิดครุสคอลลวลลิส (Kruskal wallis) ถ้าประชากรมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติจะใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ชนิดวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two way ANOVA) เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันหรือไม่ หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบข้อมูลแยกพิจารณาทีละตัวแปรต้นและทีละปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparisons) ต่อที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เริ่มต้นต้องตรวจสอบความแปรปรวนของประชากรแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่โดยการทดสอบความเหมือนของค่าความแปรปรวน (Test of homogeneity of variance) ด้วยวิธีของ Levene กรณีผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันจะเลือกเปรียบเทียบเชิงซ้อนต่อด้วยวิธีของบอนเฟอโรนนิ (Bonferroni) แต่กรณีที่ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ซึ่งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จึงไม่สามารถใช้ค่าสถิติทดสอบ F ได้และต้องใช้สถิติบราวน์ฟอร์เต้ (Brown-Forsythe) ในการทดสอบแทน การเปรียบเทียบเชิงซ้อนจะเลือกใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2)

สุดท้ายพิจารณาแต่ละปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficients) ถ้าประชากรมีการแจกแจงปกติจะใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธีของเพียร์สัน (Pearson correlation) แต่ถ้าประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติจะวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธีของสเปียร์แมน (Spearman Rank correlation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ตอนที่ 1 เปรียบเทียบค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างเคลือบฟัน (หน่วย %)

ช่วงเวลา กลุ่มที่	5 นาที (n=6)	15 นาที (n=6)	30 นาที (n=6)	1 ชม (n=6)	5 ชม (n=6)	24 ชม (n=6)	3 วัน (n=6)	7 วัน (n=6)
1	0.49 <sub>A</sub> (0.10)	0.78 <sub>D</sub> (0.03)	1.38 <sub>C</sub> (0.16)	3.22 <sub>J</sub> (0.19)	4.71 <sub>M</sub> (0.76)	16.25 <sub>O</sub> (1.94)	27.38 <sub>V</sub> (2.78)	31.85 <sub>AI</sub> (2.88)
2	-0.04 <sub>B</sub> (0.04)	-0.01 <sub>E</sub> (0.03)	-0.04 <sub>H</sub> (0.05)	-0.02 <sub>K</sub> (0.04)	-0.07 <sub>N</sub> (0.05)	-0.15 <sub>R</sub> (0.03)	-0.19 <sub>W</sub> (0.02)	-0.55 <sub>BI</sub> (0.07)
3	0.19 <sub>C</sub> (0.03)	0.30 <sub>F</sub> (0.09)	0.34 <sub>I</sub> (0.09)	0.38 <sub>L</sub> (0.08)	0.85 <sub>O</sub> (0.06)	2.89 <sub>S</sub> (0.24)	5.40 <sub>X</sub> (0.53)	7.44 <sub>CI</sub> (1.03)
4	0.01 <sub>B</sub> (0.03)	0.04 <sub>E</sub> (0.04)	0.03 <sub>H</sub> (0.05)	0.03 <sub>K</sub> (0.04)	0.45 <sub>P</sub> (0.04)	0.73 <sub>T</sub> (0.11)	1.38 <sub>V</sub> (0.16)	1.79 <sub>DI</sub> (0.30)
5	0.01 <sub>B</sub> (0.03)	0.00 <sub>E</sub> (0.00)	0.02 <sub>H</sub> (0.04)	0.00 <sub>K</sub> (0.00)	0.02 <sub>N</sub> (0.04)	0.16 <sub>U</sub> (0.09)	0.73 <sub>Z</sub> (0.23)	1.09 <sub>DI</sub> (0.39)

ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักถ้ามีค่าติดลบแสดงว่ามีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก ถ้ามีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีการหายไปของน้ำหนัก

A, B, C = อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < .05$ ) ในระหว่างกลุ่มสารละลาย

———— = ค่าที่อยู่บนเส้นเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > .05$ ) ในระหว่างช่วงเวลา

(อ้างอิงจากตารางที่ 7 ในภาคผนวก)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางพบว่ากลุ่มสารละลาย ระยะเวลาการแช่ชิ้นตัวอย่าง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร มีผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ( $p < .05$ ) (ตารางที่ 14 ในภาคผนวก) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักชิ้นตัวอย่างของแต่ละกลุ่มในทุกช่วงเวลาแสดงดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่ากลุ่มที่ 1 ค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปจะมีค่ามากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกลุ่มในทุกช่วงเวลา เช่นเดียวกับค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปในกลุ่มที่ 3 จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 ในทุกช่วงเวลา แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าร้อยละน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 4 ในช่วง 5 นาที-1 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 5 ในช่วง 5 นาที-5 ชั่วโมง ค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการแช่ในสารละลายนานขึ้นโดยในกลุ่มที่ 1 พบความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลายกเว้นช่วง 3 วันและ 7 วัน กลุ่มที่ 2 ค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 7 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วง 5 นาที-1 ชั่วโมง และช่วง 3 วัน-7 วัน ส่วนกลุ่มที่ 5 ค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงเวลา 5 นาที-24 ชั่วโมง และช่วง 3 วัน-7 วัน

## ตอนที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมไอออนที่พบภายในสารละลาย

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ปริมาณแคลเซียมไอออนภายในสารละลาย (หน่วย ppm)

ช่วงเวลา กลุ่มที่	เริ่มต้น* (n=6)	5 ชม (n=6)	24 ชม (n=6)	3 วัน (n=6)	7 วัน (n=6)
1	-1.42 <sub>A</sub> (0.93)	155.61 <sub>E</sub> (30.39)	278.45 <sub>J</sub> (30.32)	443.17 <sub>O</sub> (25.77)	606.68 <sub>T</sub> (33.96)
2	20.70 <sub>B</sub> (1.79)	19.55 <sub>F</sub> (1.20)	19.55 <sub>K</sub> (0.58)	16.69 <sub>P</sub> (3.03)	13.10 <sub>U</sub> (1.72)
3	14.12 <sub>C</sub> (0.54)	51.83 <sub>G</sub> (11.62)	101.98 <sub>L</sub> (17.88)	239.93 <sub>Q</sub> (22.64)	287.08 <sub>V</sub> (22.23)
4	522.93 <sub>D</sub> (74.58)	526.73 <sub>H</sub> (167.78)	577.87 <sub>M</sub> (73.94)	661.90 <sub>R</sub> (31.88)	879.60 <sub>S</sub> (147.92)
5	19.49 <sub>B</sub> (0.97)	25.48 <sub>I</sub> (2.65)	34.50 <sub>N</sub> (5.42)	46.30 <sub>S</sub> (5.42)	65.49 <sub>W</sub> (5.94)

\* = ปริมาณแคลเซียมไอออนเริ่มต้น ได้มาจากสารละลายกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้มีการแช่ทิ้งไป

\*\* = ค่าปริมาณแคลเซียมไอออนที่วัดได้ติดลบแปลผลว่าไม่มีแคลเซียมในสารละลายนั้น

A, B, C = อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < .05$ ) ในระหว่างกลุ่มสารละลาย

———— = ค่าที่อยู่บนเส้นเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > .05$ ) ในระหว่างช่วงเวลา

(อ้างอิงจากตารางที่ 10, 11 ในภาคผนวก)

จากงานวิจัยนำร่อง (ตารางที่ 15 ในภาคผนวก) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมไอออนก่อนและหลังในสารละลายกลุ่มควบคุมทั้ง 5 กลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นในขั้นตอนของการทดลองจึงวัดปริมาณแคลเซียมไอออนของสารละลายกลุ่มควบคุมทั้ง 5 กลุ่ม เริ่มต้นที่เวลา 5 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางพบว่ากลุ่มสารละลาย ระยะเวลาการแช่ขึ้นตัวอย่าง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร มีผลต่อปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลาย ( $p <$

.05) (ตารางที่ 14 ในภาคผนวก) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายแต่ละกลุ่มในทุกช่วงเวลาแสดงดังตารางที่ 5 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายของแต่ละกลุ่มในทุกช่วงเวลายกเว้นช่วงเวลาเริ่มต้นของกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 5 และช่วงเวลา 7 วันของกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 4 เมื่อระยะเวลาการแช่ขึ้นตัวอย่างในสารละลายแต่ละกลุ่มนานขึ้นจะพบปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้นยกเว้นกลุ่มที่ 2 ปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายมีค่าลดลงและพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 7 ส่วนกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 ปริมาณแคลเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อแช่ขึ้นตัวอย่างนานมากกว่า 3 วัน และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

### ตอนที่ 3 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปาก

ช่วงเวลา กลุ่มที่	0 นาที (n=48)	5 นาที (n=6)	15 นาที (n=6)	30 นาที (n=6)	1 ชม (n=6)	5 ชม (n=6)	24 ชม (n=6)	3 วัน (n=6)	7 วัน (n=6)
1	2.32 <sub>A</sub> (0.02)	2.34 <sub>E</sub> (0.01)	2.33 <sub>I</sub> (0.01)	2.41 <sub>M</sub> (0.01)	2.50 <sub>O</sub> (0.03)	2.75 <sub>U</sub> (0.02)	3.35 <sub>V</sub> (0.03)	3.83 <sub>CI</sub> (0.03)	4.02 <sub>HI</sub> (0.05)
2	7.00 <sub>B</sub> (0.02)	7.02 <sub>F</sub> (0.02)	7.02 <sub>J</sub> (0.01)	7.01 <sub>N</sub> (0.01)	7.00 <sub>R</sub> (0.02)	6.99 <sub>V</sub> (0.01)	7.00 <sub>Z</sub> (0.02)	6.99 <sub>DI</sub> (0.01)	7.00 <sub>I</sub> (0.02)
3	3.21 <sub>C</sub> (0.02)	3.21 <sub>G</sub> (0.02)	3.21 <sub>K</sub> (0.02)	3.21 <sub>O</sub> (0.02)	3.23 <sub>S</sub> (0.01)	3.23 <sub>W</sub> (0.02)	3.33 <sub>V</sub> (0.02)	3.43 <sub>EI</sub> (0.01)	3.45 <sub>J</sub> (0.02)
4	3.52 <sub>D</sub> (0.03)	3.53 <sub>H</sub> (0.03)	3.57 <sub>L</sub> (0.04)	3.58 <sub>P</sub> (0.03)	3.55 <sub>T</sub> (0.01)	3.54 <sub>X</sub> (0.01)	3.58 <sub>AI</sub> (0.02)	3.58 <sub>FI</sub> (0.02)	3.59 <sub>KI</sub> (0.02)
5	3.21 <sub>C</sub> (0.02)	3.20 <sub>G</sub> (0.02)	3.22 <sub>K</sub> (0.02)	3.21 <sub>O</sub> (0.02)	3.20 <sub>S</sub> (0.02)	3.20 <sub>W</sub> (0.01)	3.25 <sub>BI</sub> (0.02)	3.20 <sub>CI</sub> (0.02)	3.22 <sub>LI</sub> (0.03)

\* = ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลายในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้มีการแช่ฟันลงไป

A, B, C = อักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < .05$ ) ในระหว่างกลุ่มสารละลาย

———— = ค่าที่อยู่บนเส้นเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > .05$ ) ในระหว่างช่วงเวลา

(อ้างอิงจากตารางที่ 8, 9 ในภาคผนวก)

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังของสารละลายกลุ่มควบคุมพบว่า มีเฉพาะกลุ่มที่ 4 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังการทดลองมีค่ามากกว่าก่อนการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16 ในภาคผนวก)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางพบว่ากลุ่มสารละลาย ระยะเวลาการแช่ขึ้นตัวอย่าง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ( $p < .05$ ) (ตารางที่ 14 ในภาคผนวก) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายแต่ละกลุ่มในทุกช่วงเวลาแสดงดังตารางที่ 6 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายแต่ละกลุ่มในทุกช่วงเวลายกเว้นกลุ่มที่ 3 กับกลุ่มที่ 5 ในช่วงเวลา 0 นาที-5 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 3 ในช่วง 24 ชั่วโมง เมื่อระยะเวลาการแช่ขึ้นตัวอย่างในสารละลายนานขึ้นในกลุ่มที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายจะเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อแช่ขึ้นตัวอย่างนานมากกว่า 30 นาที ส่วนกลุ่มที่ 2, 4 และ 5 ในช่วงเวลา 5 นาที-7 วันการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในกลุ่มที่ 3 จะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ขึ้นตัวอย่างนานมากกว่า 24 ชั่วโมง

#### ตอนที่ 4 ศึกษาชั้นเชื่อมต่อระหว่างสารยึดเรซินกับผิวเคลือบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

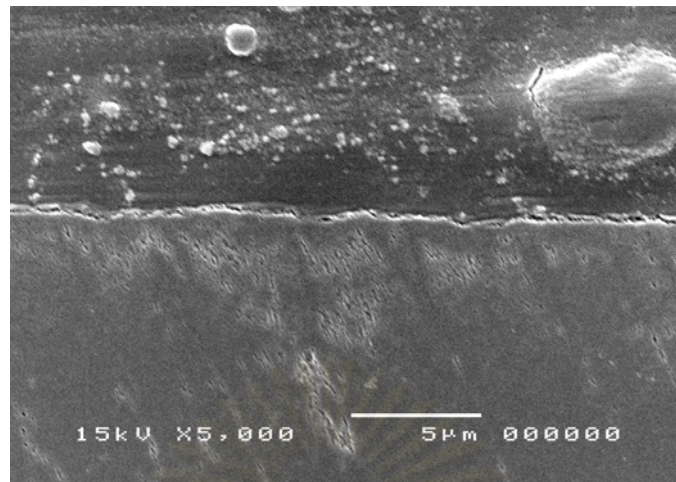
ขึ้นตัวอย่างควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมตามระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 5-7) เมื่อนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 35-5,000 จะพบว่าชั้นงานในทุกช่วงเวลาเมื่อผ่านการขัดเรียบแล้วยังมีลักษณะของก้อนเรซินรวมตัวกันเป็นกลุ่มๆ ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นอกจากนั้นยังพบรอยแยกที่ชั้นเรซินบางตำแหน่ง ส่วนชั้นรอยต่อของไฮบริดมีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบชั้นรอยต่อก่อนและหลังการแช่กรดไฮโดรคลอริกพบว่ามีความหนา 0.5-1 ไมโครเมตร เมื่อเอียงชิ้นงานให้หงายขึ้นจะพบชั้นรอยต่อนี้มีลักษณะคล้ายรังผึ้งเป็นโครงตาข่าย 3 มิติ ส่วนชิ้นตัวอย่างทดลองที่แช่ในน้ำลายเทียมที่มีสภาวะความเป็นกรด (ภาพที่ 8-13) ชิ้นงานที่ขัดเรียบมีลักษณะของพื้นผิวเรซินหรือชั้นรอยต่อเหมือนกับกลุ่มควบคุม ภายหลังการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกยังพบชั้นรอยต่อที่มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ และในแต่ละช่วงเวลาชั้นไฮบริดก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน



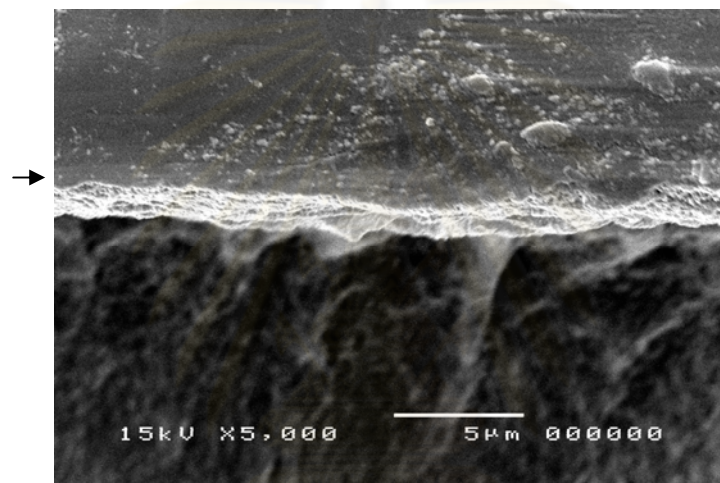
## ตอนที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

การหายไปของน้ำหนักรู้นเคลือบฟันและปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายออกมาในสารละลายสามารถใช้บ่งบอกการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันได้โดยจากรายที่ 17 (ในภาคผนวก) แสดงให้เห็นว่าค่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักรู้นตัวอย่างกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พบในสารละลายมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงและไปในทิศทางเดียวกัน ( $r = .722$ , sig. (2-tailed) = .000) ส่วนค่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักรู้นตัวอย่างกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีความสัมพันธ์กันน้อยมากและทิศทางตรงข้ามกัน ( $r = -.251$ , sig. (2-tailed) = .006) สุดท้ายปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พบในสารละลายกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ( $r = -.045$ , sig. (2-tailed) = .622)

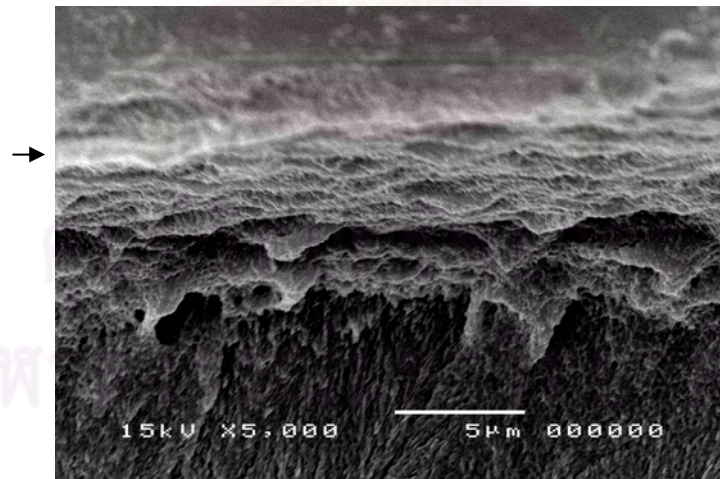
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a)



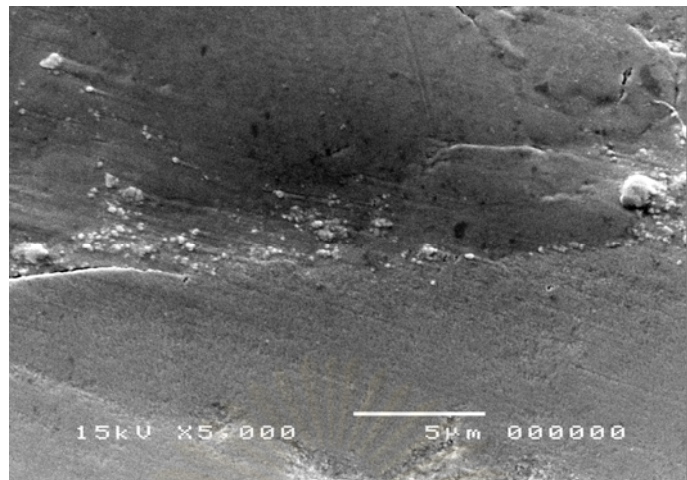
b)



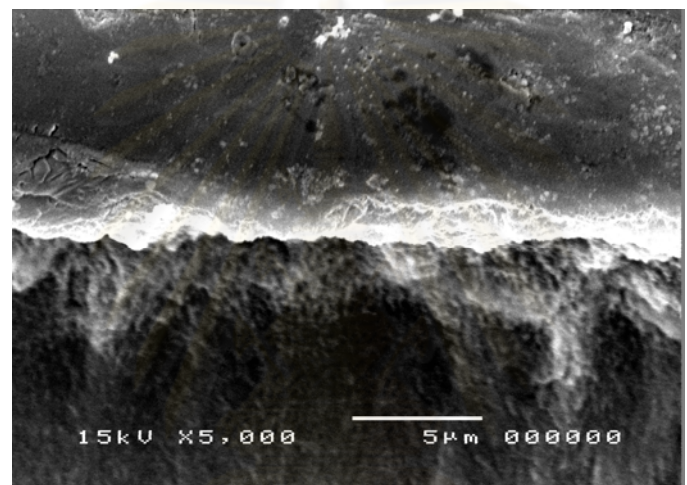
c)

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 5 นาที

a) ภายหลังจากขั้นตอนการบรุษแยกที่ชั้นเรซินบริเวณรอยต่อ b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบชั้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



a)



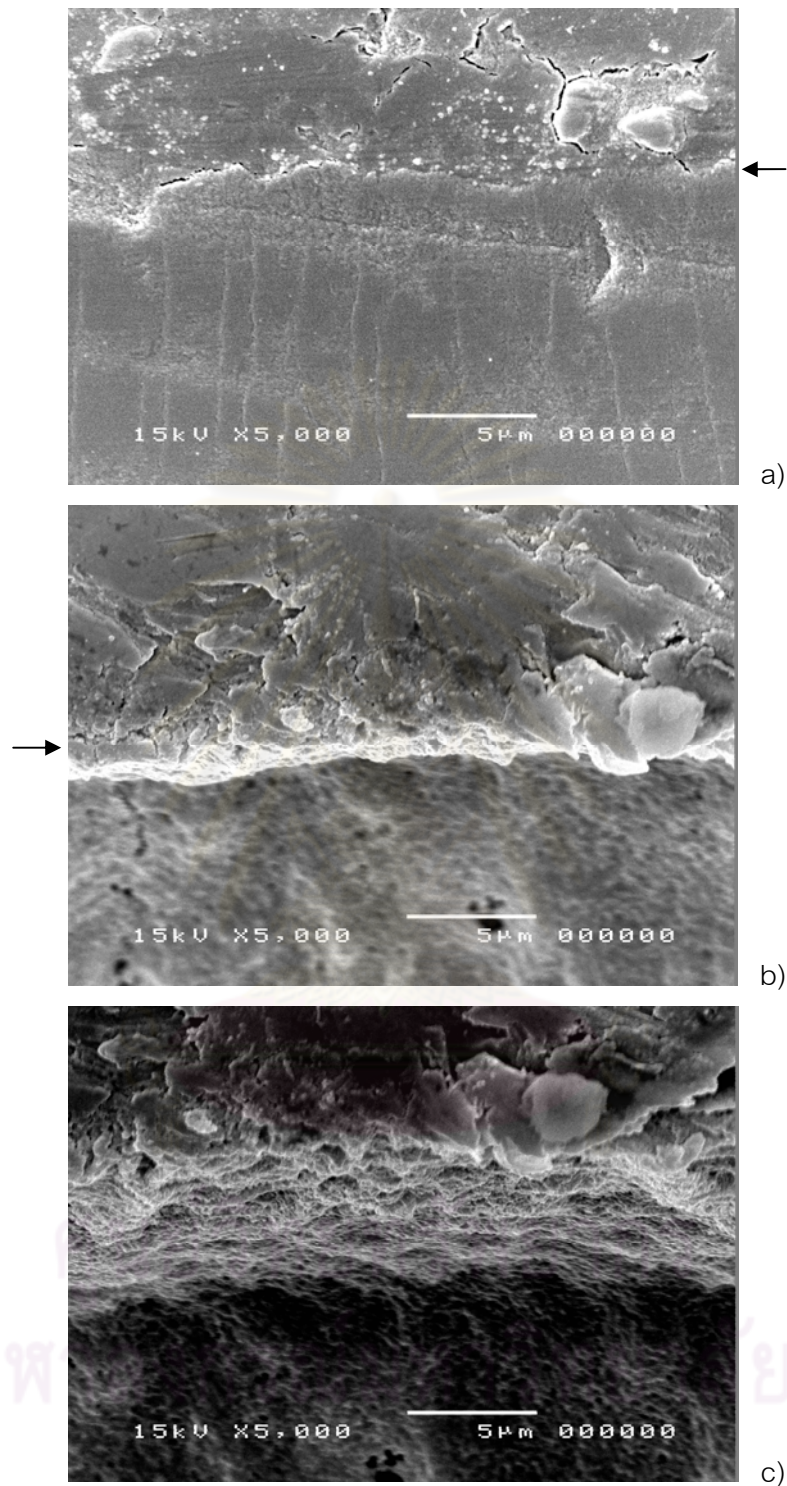
b)



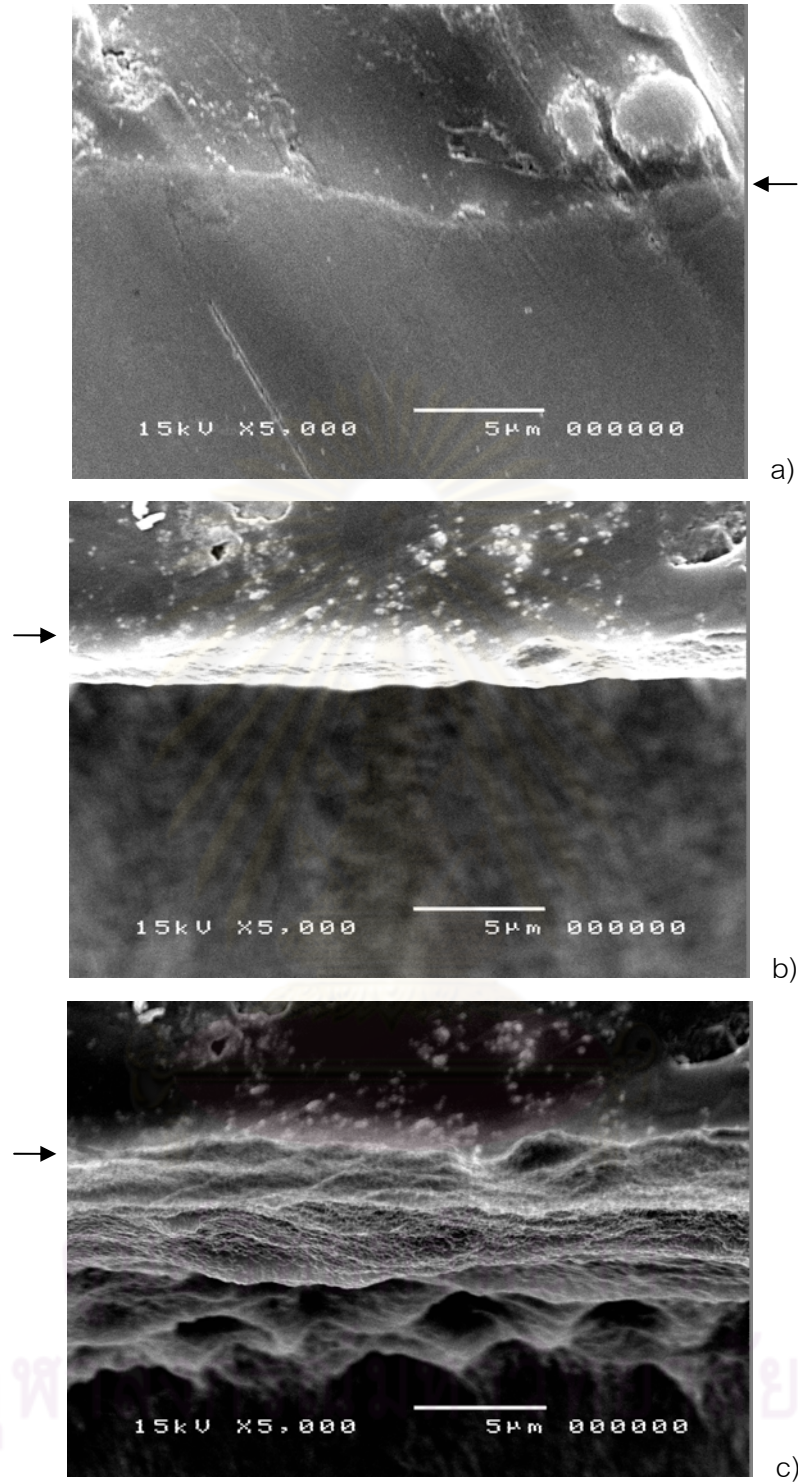
c)

ภาพที่ 6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

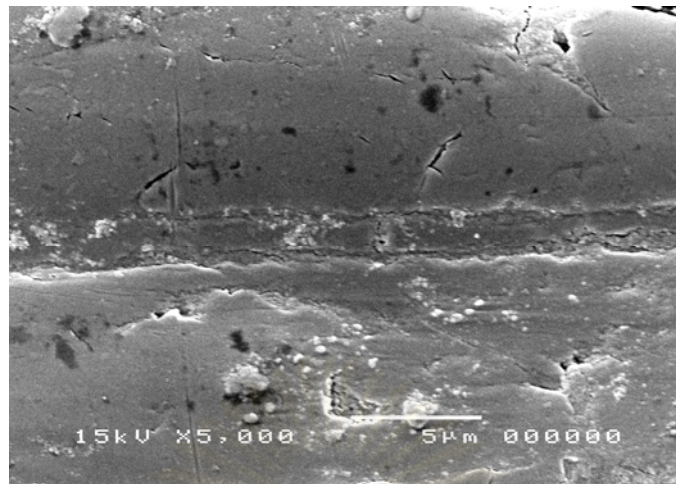
a) ภายหลังจากตัดชิ้นงานพบรอยแยกที่ชั้นเรซินบริเวณรอยต่อ b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการทรายชิ้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



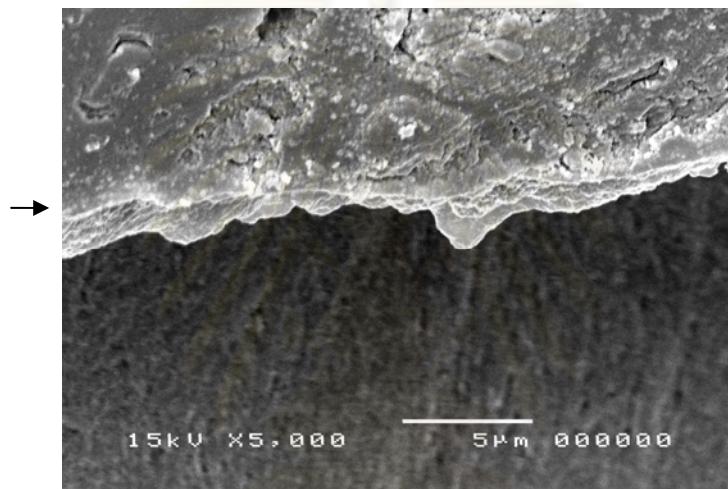
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่แช่ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 7 วัน  
 a) ภายหลังจากขั้นตอนงานพบรอยแยกมากที่ชั้นเรซินและบริเวณรอยต่อ b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบชั้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



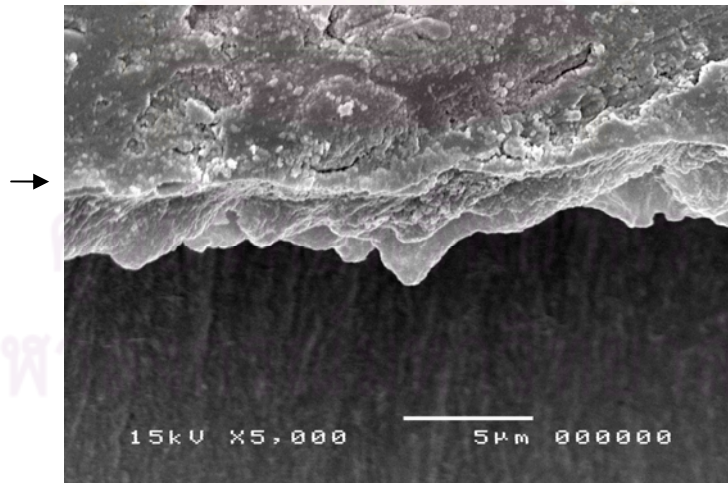
ภาพที่ 8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 5 นาที (ชิ้นที่ 1)  
 a) ภายหลังจากขัดชิ้นงานপররয়แยกเฉพาะชั้นเรซิน b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการทรายชิ้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



a)



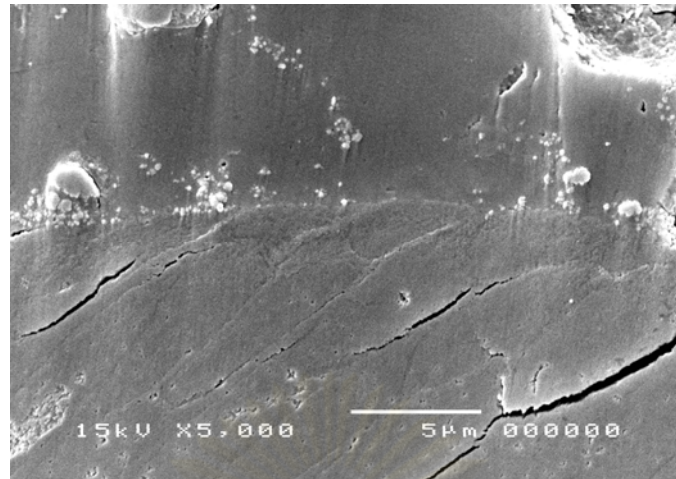
b)



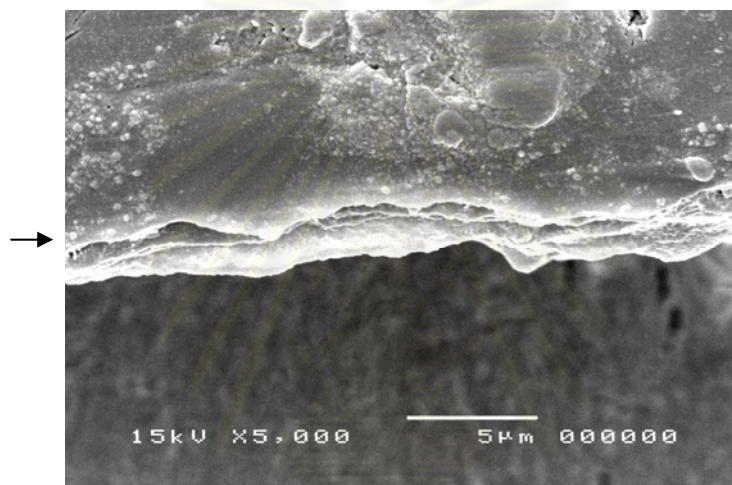
c)

ภาพที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 5 นาที (ชั้นที่ 2)

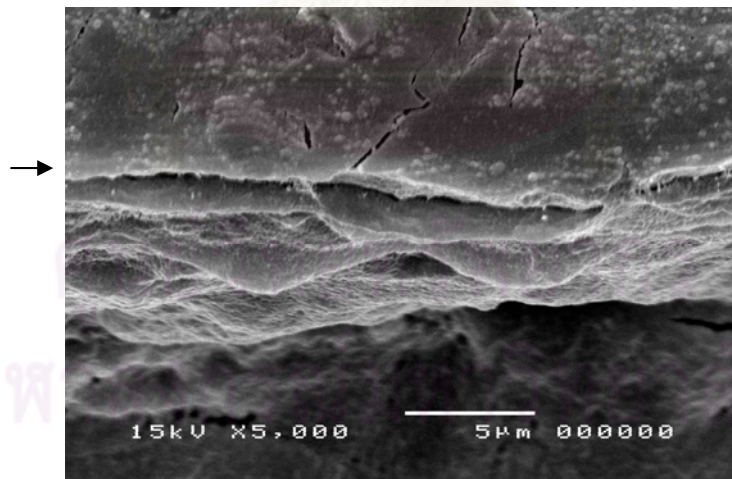
a) ภายหลังจากขั้นตอนการพบรอยแยกเฉพาะชั้นเรซิน b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบยั้งงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



a)



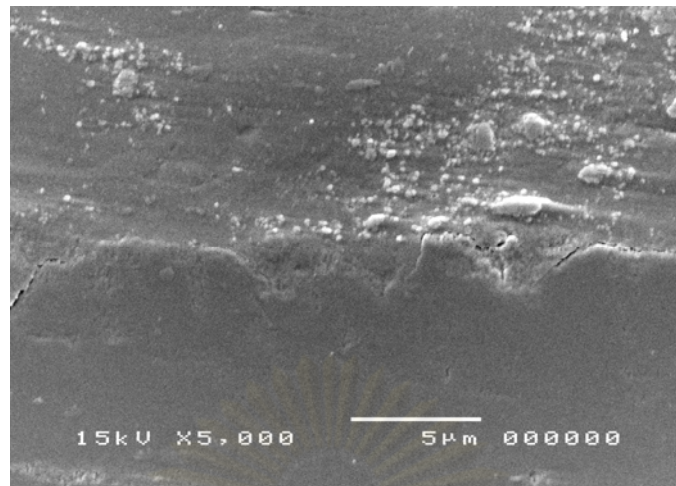
b)



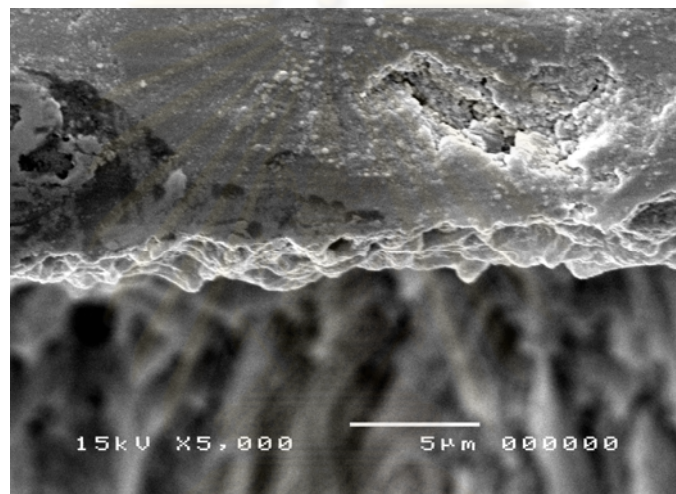
...c)

ภาพที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ชั้นที่ 1)

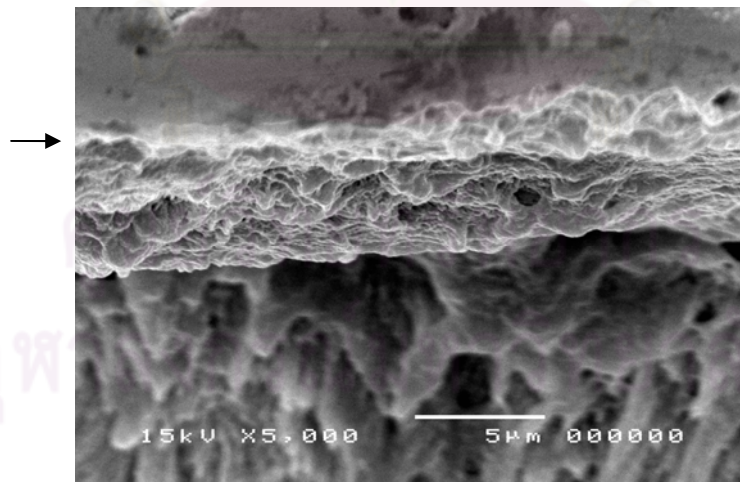
a) ภายหลังจากตัดชิ้นงานปกรอยแยกที่ชั้นเรซินและเคลือบพื้น b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบชิ้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



a)



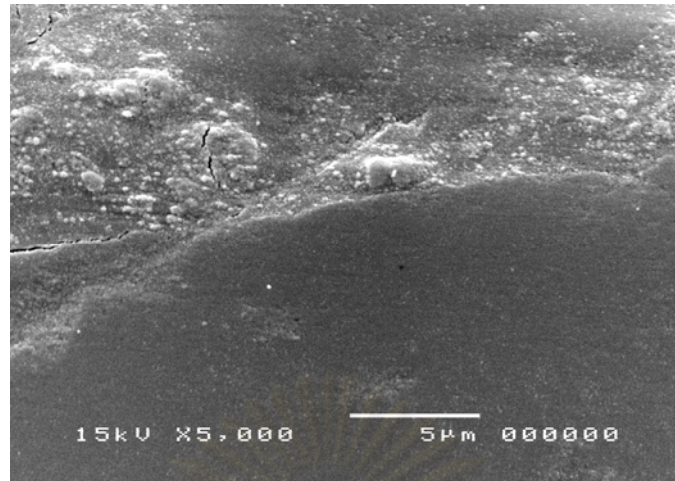
b)



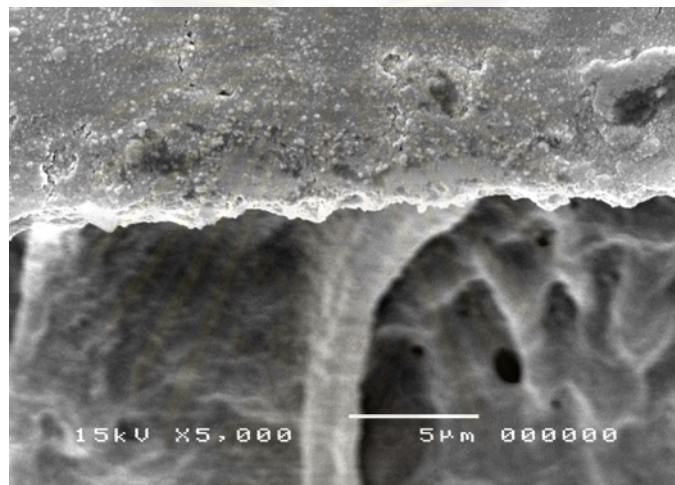
c)

ภาพที่ 11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ชั้นที่ 2)  
 a) ภายหลังจากขั้นตอนการพบรอยแยกที่ชั้นเรซินบริเวณรอยต่อ b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการทรายชิ้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด

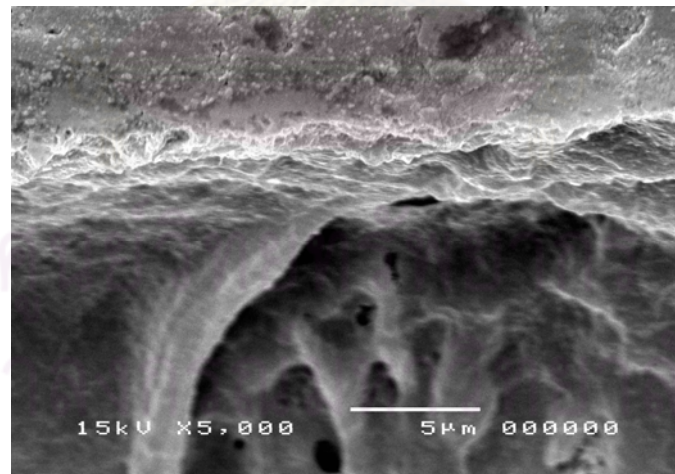




a)



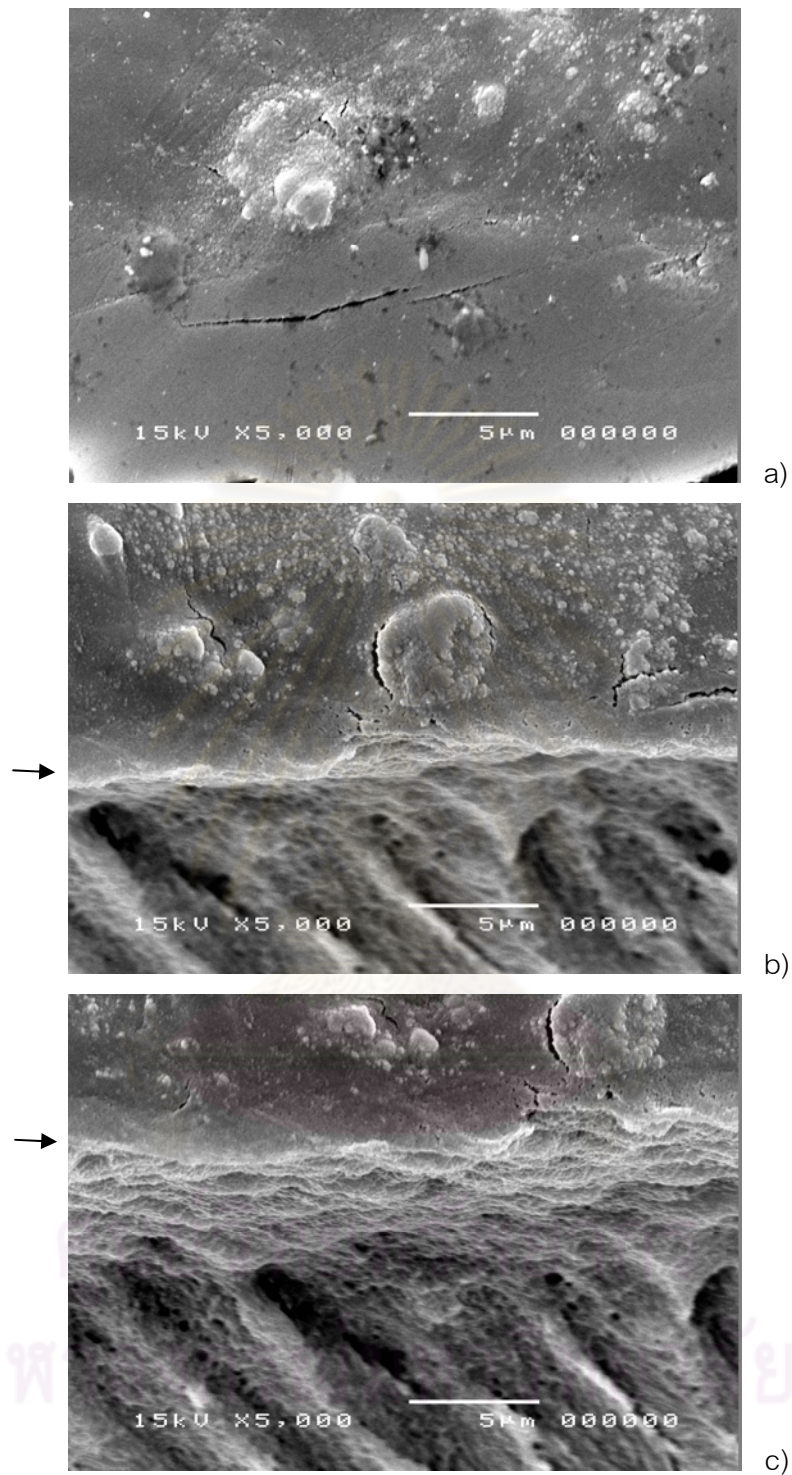
b)



c)

ภาพที่ 12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชิ้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 7 วัน (ชิ้นที่ 1)

a) ภายหลังจากขั้นตอนการบร่ายแยกที่ชั้นเรซินและบริเวณรอยต่อ b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบชิ้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด



ภาพที่ 13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า แสดงลักษณะของชั้นไฮบริดของชั้นตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกลุ่มที่ 5 เป็นเวลา 7 วัน (ขั้นที่ 2)  
 a) ภายหลังจากขั้นตอนการพรวนแยกที่ชั้นเรซินและเคลือบพื้น b) ภายหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกพบว่าชั้นไฮบริด (ลูกศร) มีความต่อเนื่องแต่หนาไม่สม่ำเสมอ c) เมื่อทำการหยาบชั้นงานมากขึ้นจะพบลักษณะคล้ายรังผึ้งใต้ชั้นไฮบริด

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการวิจัย

สารละลายในกลุ่มที่ 1 สะท้อนถึงสภาวะช่องปากที่มีกรดสัมผัสผิวฟันตลอดเวลา เช่น บริเวณที่มีอาหารติดคาตามซอกฟันหรือมีของหวานเหนียวติดฟัน และรวมถึงบริเวณที่ผู้ป่วยไม่สามารถทำความสะอาดได้อย่างต่อเนื่องจึงมีแผ่นคราบจุลินทรีย์สะสมหนาแน่น เมื่อเป็นจุดที่น้ำลายไม่สามารถเข้าถึงได้จากการทดลองนี้พบว่าภายใน 5 นาที น้ำหนักขึ้นเคลือบฟันหายไปได้ถึงร้อยละ 0.49 และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาสอดคล้องกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกซีอะปาทิตที่ตรวจพบภายในสารละลายที่มีค่าเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายจะพบเพิ่มสูงขึ้นและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเวลา 30 นาที ทั้งที่ในขณะนั้นน้ำหนักขึ้นเคลือบฟันได้หายไปถึงร้อยละ 1.38 นี้แสดงให้เห็นว่าช่วงระยะเวลาก่อน 30 นาที ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ยังพบการหายไปของน้ำหนักขึ้นเคลือบฟันที่แช่อยู่ในสารละลายที่มีความเป็นกรดตลอดเวลา ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 7 วัน จาก 2.32 เป็น 4.02 และน้ำหนักขึ้นเคลือบฟันหายไปร้อยละ 31.85 ร่วมกับค่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไปวันที่ 3 และ 7 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นี้แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างและองค์ประกอบของเคลือบฟันที่ผลึกมีคุณสมบัติเป็นต่างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะปาทิตสามารถไปทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกเพื่อทำให้สภาวะความเป็นกรดของสารละลายลดลงจนส่งผลให้อัตราการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันไม่เกิดความแตกต่าง

สารละลายในกลุ่มที่ 2 ใช้สะท้อนสภาวะของช่องปากที่ปราศจากกรด จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของขึ้นเคลือบฟันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 7 และเมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกซีอะปาทิตในสารละลายก็พบว่ามีการลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากสารละลายมีความอึดตัวยิ่งยวดของแร่ธาตุจึงเกิดการตกตะกอนบนพื้นผิวฟันที่มีรูพรุน (Featherstone, 2000) และจากการศึกษาของ Arends และ Jongebloed (1977) กล่าวว่าแร่ธาตุที่ผิวนอกสุดของเคลือบฟันจะมีฟอสเฟตกระจายตัวอยู่มากกว่าแคลเซียมทำให้ผิวเคลือบฟันด้านนอกซึ่งมีประจุเป็นลบสามารถจับกับไอออนที่มีประจุบวกของแคลเซียมซึ่งกระจายอยู่ในสารละลายจึงยิ่งเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดการตกตะกอนบนพื้นผิว มีการศึกษาของ Lendenmann และคณะ (2000) และ Hara และคณะ (2006) กล่าวว่าองค์ประกอบของโปรตีนบางชนิดภายในน้ำลายเมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งสามารถเกิดเป็นแผ่นคราบน้ำลาย (salivary pellicle) บนผิวฟัน แต่ในการทดลองนี้ใช้น้ำลายเทียมที่ไม่ได้มีองค์ประกอบของโปรตีนแต่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งจำลองมาจากสภาวะ

ของน้ำลายจริง (Preetha and Banerjee, 2005) ทำให้ไม่น่าจะเกิดเป็นแผ่นคราบน้ำลายปกคลุมบนผิวเคลือบฟันได้ ดังนั้นการพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 7 ยิ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนของแร่ธาตุสู่พื้นผิวฟันไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยง่ายต้องใช้ระยะเวลาานเพียงพอ

สารละลายในกลุ่มที่ 3 ได้จำลองสภาวะที่ภายหลังจากบริโภคน้ำตาลหรืออาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตแล้วจะมีกรดเกิดขึ้นในน้ำลาย จากการศึกษาพบว่าค่าร้อยละน้ำหนักรวมที่หายไปของชั้นเคลือบฟันกลุ่มที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มที่ 2 ในทุกช่วงเวลาและพบความแตกต่างของน้ำหนักรวมที่หายไปเพิ่มขึ้นใน 5 ชั่วโมง แสดงว่าน้ำลายไม่ได้ช่วยกำจัดกรดเพียงแต่ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของชั้นเคลือบฟันได้ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ถ้าภายในน้ำลายยังมีกรดเหลืออยู่จะพบการหายไปของน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นเคลือบฟันสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่พบการเปลี่ยนแปลงใน 24 ชั่วโมงและค่าไม่ได้เพิ่มสูงมากแม้จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นระหว่างกรดและเคลือบฟันอาจเป็นผลจากคุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำลายที่ช่วยคงสภาพความเป็นกรด-ด่างไว้ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในการศึกษาจำลองสภาวะคงที่ภายในช่องปากที่ไม่ได้มีการผลิตน้ำลายออกมาใหม่และไม่มีการกลืน ซึ่งในความเป็นจริงขณะบริโภคอาหารจะมีการกระตุ้นให้เกิดการไหลของน้ำลายตลอดเวลาและมีการกลืนมากกว่า 2.3 ครั้ง/นาที (Lagerlof and Dawes, 1984) ณ ขณะนั้นถ้าในช่องปากยังมีอาหารเหลืออยู่แบคทีเรียก็สามารถสร้างกรดออกมาใหม่ได้ทำให้เคลือบฟันบริเวณที่มีการสัมผัสกรดเกิดการสูญเสียแร่ธาตุอยู่ตลอดเวลา การศึกษาก่อนหน้านี้ (Higham and Edgar, 1989; Stookey, 2008) กล่าวว่าภายหลังจากมื้ออาหารการทานชีสหรือเคี้ยวหมากฝรั่งที่ปราศจากน้ำตาลจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการไหลของน้ำลายเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นได้เร็วกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นอาจเป็นเพราะว่าน้ำลายที่ไหลเพิ่มขึ้นจะช่วยในการชะล้างอาหารและกรดเมื่อมีปริมาณน้ำลายมากก็จะกระตุ้นให้มีการกลืนถี่ขึ้นซึ่งเป็นกลไกการกำจัดอาหารและกรดของร่างกาย เมื่อไม่เหลืออาหารที่แบคทีเรียจะนำไปย่อยสลายได้ ผลก็คือไม่เกิดการสร้างกรดใหม่ออกมา

สารละลายในกลุ่มที่ 4 เป็นการจำลองวิธีการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุออกมาจากชั้นเคลือบฟัน โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรใส่ลงไป ในน้ำลายที่มีความเป็นกรด พบว่าสามารถช่วยลดค่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักรวมได้มากกว่ากลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา นอกจากนี้ยังพบว่าค่าร้อยละน้ำหนักรวมที่หายไปของชั้นเคลือบฟันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่ 2 จนถึงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งอาจเป็นผลจากผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่กระจายตัวอยู่นั้นมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์

ภายในเคลือบฟันและยังมีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรใกล้เคียงกัน (Berkovitz et al, 2002) จึงเข้าทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกได้ดีและเร็วกว่าชั้นเคลือบฟันที่ผลึกจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น แต่ถึงอย่างไรก็ตามกรดที่เหลืออยู่และกระจายตัวภายในสารละลายสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับผิวเคลือบฟันจนพบการหายไปของน้ำหนักรวมได้ การศึกษาที่ก่อนหน้านี้ (Margolis et al, 1985; Tanaka and Kadoma, 2000) เชื่อว่าการเพิ่มระดับความอึดตัวของไอออนของแร่ธาตุภายในสารละลายจะช่วยลดอัตราการสูญเสียแร่ธาตุของฟันลงได้เนื่องจากการส่งผ่านไอออนออกจากฟันไปสู่สารละลายเกิดขึ้นได้ช้าลง แต่การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่ได้ลงไปอยู่ในรูปของอนุภาคผง เมื่อสัมผัสกรดจึงเกิดการสลายตัวให้ไอออนของแคลเซียม ฟอสเฟต และไฮดรอกซิล (Dawes, 2003) เมื่อฟอสเฟตไอออน ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) และไฮดรอกซิล ( $\text{OH}^-$ ) เข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ของกรดจึงเหลือแคลเซียมไอออนปริมาณมากในสารละลาย ดังนั้นสิ่งที่ช่วยลดอัตราการสูญเสียแร่ธาตุของฟันคือผลึกแร่ธาตุที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกรดได้ก่อนที่กรดจะมาทำปฏิกิริยากับฟัน ส่วนแคลเซียมไอออนที่พบอยู่ในสารละลายนั้นเป็นแค่สิ่งที่เหลืออยู่ จากการทดลองนี้ปริมาณแคลเซียมไอออนภายในสารละลายที่พบมีค่าสูงมากในทุกช่วงเวลา อาจเป็นผลจากกระบวนการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมไอออนในระหว่างการทดลอง มีการดูดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่กระจายตัวอยู่ในสารละลายเข้าไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องในหลอดทดลองที่เตรียมวัดด้วยเครื่องไอ ซี พี และความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่ขึ้นตัวอย่างนานมากกว่า 3 วัน อาจเป็นผลจากแคลเซียมไอออนที่สลายออกมาจากชั้นเคลือบฟันมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อพิจารณาคร่าวๆ ละ น้ำหนักที่หายไปก็พบว่ามีความมากกว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นถึง 138 เท่า สุดท้ายการที่ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของเคลือบฟันได้ถึง 1 ชั่วโมง ถ้านำมาประยุกต์ใช้กับสภาวะจริงในช่องปากที่มีการกลืนและสร้างกรดเกิดขึ้นตลอดเวลา ก็จะสามารถช่วยลดอุบัติการณ์ของการเกิดฟันผุและการสึกกร่อนของเคลือบฟันอันมีสาเหตุมาจากกรดได้ ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในทางคลินิกต่อไปในอนาคต

กลุ่มที่ 5 ชั้นเคลือบฟันที่ถูกเคลือบด้วยเรซินและแช่อยู่ในน้ำลายที่มีความเป็นกรดพบว่าตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก และคร่าวๆ ละน้ำหนักที่หายไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่ 2 จนถึงระยะเวลา 5 ชั่วโมง นี้แสดงให้เห็นว่าการเกิดชั้นไฮบริดและมีเรซินปกคลุมพื้นผิวเคลือบฟันสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของชั้นเคลือบฟันจากการสัมผัสกับกรดได้ใน 5 ชั่วโมงและช่วยลดคร่าวๆ ละการหายไปของน้ำหนักได้มากกว่ากลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา แต่การที่ขึ้นตัวอย่างซึ่งแช่ในสารละลายเป็นระยะเวลามากกว่า 3 วัน พบการหายไปของน้ำหนักและเมื่อพิจารณาปริมาณ

แคลเซียมไอออนก็พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาชั้นเชื่อมต่อระหว่างสารยึดเรซินกับผิวเคลือบฟันพบว่าชั้นไฮบริดมีความหนาไม่สม่ำเสมอและบางจุดมีรอยแยกระหว่างเรซินกับเคลือบฟันจึงอาจเป็นสาเหตุทำให้มีกรดบางส่วนแทรกซึมผ่านลงไปสัมผัสกับผิวเคลือบฟันจนเกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกมา ดังนั้นถ้าสามารถสร้างชั้นไฮบริดที่มีความหนาและยาวต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ได้จะเป็นการป้องกันการรื้อซึมระดับไมโครเมตรและระดับนาโนเมตร (อริยา ทวีรัตน์, 2545; Piemjai et al, 2010) จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบส่วนของพื้นผิวเรซินไม่เรียบและมีการกระจุกตัวของก้อนเรซินอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการเคลือบที่ใช้วิธีการแตงผลลับกับส่วนเหลวทำให้ไม่สามารถควบคุมความหนาและการกระจายตัวของส่วนผงได้ ส่วนชั้นไฮบริดที่มีความหนาไม่สม่ำเสมออาจเป็นเพราะในกระบวนการเตรียมขึ้นตัวอย่างทำให้พื้นผิวชุ่มด้วยส่วนเหลวของโฟร์เมตา เอ็มเอ็มเอทีบีบีไม่เพียงพอก่อนจะเคลือบด้วยผงพอลิเมอร์ ส่วนที่ผิวเคลือบฟันบางตำแหน่งมีรอยแยกอาจเป็นเพราะเคลือบฟันมีส่วนที่เป็นอินิน-ทรียี่สารอยู่มาก พอทำให้แห้งสนิทจึงเกิดรอยแตกได้ง่าย นอกจากนี้กระบวนการเตรียมขึ้นตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดต้องมีการตัดผ่านรอยต่อและมีการขัดให้เรียบมัน ถ้าชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นไม่มีความแข็งแรงและสมบูรณ์ก็จะเกิดการแยกของชั้นเรซินออกมา และแรงที่ใช้ในการขัดก็อาจทำให้เคลือบฟันที่มีลักษณะเปราะบางอยู่แล้วแตกได้

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลายที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ถึงแม้ค่าจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการทดลอง (สารละลายกลุ่มที่ 4 และ 5) หรืออาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (สารละลายกลุ่มที่ 3) ก็ไม่ได้สะท้อนถึงการคงอยู่หรือการสูญเสียแร่ธาตุจากเคลือบฟัน สอดคล้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักขึ้นตัวอย่างกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมากและทิศทางตรงข้ามกัน ( $r = -0.251$ ) แต่การศึกษาก่อนหน้านี้ดังกล่าวมาข้างต้นจะให้ความสำคัญกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลายมากและพิจารณาว่ากรดที่เกิดขึ้นภายในช่องปากถูกทำให้เป็นกลางจากคุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำลาย ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์คือส่วนสำคัญในการทำปฏิกิริยาเคมีกับกรดเพื่อทำให้สภาวะความเป็นกรดภายในช่องปากลดลงแล้วกลับเข้าสู่ความเป็นกลาง

กรดที่พบภายในช่องปากไม่ว่าจะเป็นผลผลิตจากกระบวนการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรียหรือกรดที่เป็นองค์ประกอบของอาหารเช่นน้ำอัดลม แอลกอฮอล์ หรือน้ำผลไม้ล้วนแต่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกมาจากฟันได้ทั้งสิ้น (Attin et al, 2005b; Ablal et al, 2009) ซึ่งถ้ากรดนั้นสัมผัสผิวฟันตลอดเวลาจะทำให้เกิดการหายไปของน้ำหนักร้อยต่อเนื่องจนเกิดเป็นการ

สึกกร่อน และเมื่อส่วนของชั้นเคลือบผิวฟันหายไป การแทรกซึมผ่านของกรดเข้าไปตามท่อเนื้อฟันก็จะเกิดได้ง่ายขึ้นจนเกิดเป็นโพรงฟันผุตามมาในที่สุดและลุกลามจนมีปัญหากับโพรงประสาทฟัน ดังนั้นการป้องกันการสูญเสียเคลือบฟันจึงเป็นหน้าที่ของทันตแพทย์ทุกคนโดยเริ่มต้นจากความเข้าใจถึงกระบวนการเกิดฟันที่ถูกต้อง สามารถอธิบายให้ผู้ป่วยตระหนักถึงความสำคัญในการทำความสะอาดช่องปากและเลือกบริโภคอาหารที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้ในระหว่างขั้นตอนการรักษาทางทันตกรรมไม่ควรกรอตัดเคลือบฟันซึ่งเป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดในร่างกายออกไป (Cole and Eastoe, 1988; Berkovitz et al, 2002) และทำยาสีฟันที่เลือกใช้วัสดุเพื่อทำการบูรณะฟันก็มีความสำคัญ เพราะถ้าใช้วัสดุที่มีความแข็งผิวมากเกินไปจะทำให้เคลือบฟันสึกได้ง่ายและเร็ว



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

1. กลไกการสูญเสียแร่ธาตุของพืชมีสาเหตุมาจากกรดและเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เป็นด่างของพืชมกับกรดนั้น เพื่อให้ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในช่องปากลดลงและเพื่อให้กลับสู่สภาวะความเป็นกลาง
2. คุณสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำลายไม่สามารถทำให้สภาวะช่องปากที่เป็นกรดกลับสู่ความเป็นกลางได้ และยังไม่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักรูทของพืชมได้
3. ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ที่ใส่เสริมลงไปสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักรูทของพืชมได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง
4. การเกิดขึ้นไฮบริดและเรซินปกคลุมผิวเคลือบฟันสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักรูทของพืชมได้ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง
5. การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักรูทของพืชม



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ปรีวันท์ จันทรเวช. การวิจัยของวัสดุบูรณะคลาสไฟฟ์ โดยใช้สารยึดยึดเรซินภายหลังการผ่านแบบจำลองการเกิดฟันผุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

เพ็ญธชา เจริญพานิช. ความทนแรงดึงของไฮบริตไคซ์เดนทีนและวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

อริยา ทวีรัตน์. การวิจัยของเรซินซีเมนต์บริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเนื้อฟัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

อรอุษา วลีพิทักษ์เดช. ค่าความแข็งแรงดึงยึดและการวิจัยของสารยึดยึดเรซินชนิดกรดกัดรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

### ภาษาอังกฤษ

Abelson, D.C., and Mandel, I.D. The effect of saliva on plaque pH in vivo. J Dent Res 60 (1981) : 1634–1638.

Ablal, M.A., et al. The erosive potential of some alcopops using bovine enamel: an in vitro study. J Dent 37 (2009) : 835–839.

Amaechi, B.T., Higham, S.M., and Edgar, W.M. Efficacy of sterilization methods and their effect on enamel demineralization. Caries Res 32 (1998) : 441-446.

Areds, J., and Jongebloed, W.L. The enamel substrate-characteristics of the enamel surface. Swed Dent J 1 (1977) : 215-224.

Attin, T., Becker, K., Hannig, C., Buchalla, W., and Hilgers, R. Method to detect minimal amounts of calcium dissolved in acidic solutions. Caries Res 39 (2005a) : 432–436.

- Attin, T., Weiss, K., Becker, K., Buchalla, W., and Wiegand, A. Impact of modified acidic soft drinks on enamel erosion. Oral Diseases 11 (2005b) : 7-12.
- Axelsson, P. Diagnosis and risk prediction of dental caries. vol 2. Sweden : Quintessence, 2000.
- Bardow, A., Moe, D., Nyvad, B., and Nauntofte, B. The buffer capacity and buffer systems of human whole saliva measured without loss of CO<sub>2</sub>. Arch Oral Biol 45 (2000) : 1-12.
- Berkovitz, B.K.B., Holland, G.R., and Moxham, B.J. Oral Anatomy, Embryology and Histology. 3<sup>rd</sup> ed. St. Louis : Mosby, 2002.
- Chandler, N.P. Preparation of dental enamel for use in intraoral cariogenicity experiments. J Dent 18 (1990) : 54-58.
- Chesters, S. P., del Vigo, F., and Darton, E.G. Theoretical and practical experience of calcium phosphate inhibition in RO waters. IDA World Congress-Maspalomas, Gran Canaria-Spain. October 21-26, 2007.
- Cole, A.S., and Eastoe, J.E. Biochemistry and oral biology. 2<sup>nd</sup> ed. London : Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1988.
- Collins, L.M.C., and Dawes, C. The Surface area of the adult human mouth and thickness of the salivary film covering the teeth and oral mucosa. J Dent Res 8 (1987) : 1300-1302.
- Dawes, C. An analysis of factors influencing diffusion from dental plaque into a moving film of saliva and the implications for caries. J Dent Res 68 (1989) : 1483-1488.
- Dawes, C. What is the critical pH and why does a tooth dissolve in acid? J Can Dent Assoc 69 (2003) : 722-724.
- Dawes, C. Salivary flow patterns and the health of hard and soft oral tissues. J Am Dent Assoc 139 (2008) : 18s-24s.
- Eisenburger, M., Hughes, J., West, N.X., Jandt, K.D., and Addy, M. Ultrasonication as a method to study enamel demineralization during acid erosion. Caries Res 34 (2000) : 289-294.
- Featherstone, J.D. The science and practice of caries prevention. J Am Dent Assoc 131 (2000) : 887-899.

- Fejerskov, O., and Kidd, E. Dental caries : The disease and its clinical management. United States : Blackwell Munkgaard, 2003.
- Ferguson, D.B. Physiology for dental students. London : Butterworth & Co (publishers) Ltd, 1988.
- Ferrazzano, G.F., Cantile, T., and Quarto, M.A. Protective effect of yogurt extract on dental enamel demineralization in vitro. Aust Dent J 53 (2008) : 314-419.
- Geddes, D.A.M. The production of L(+) and D(-) lactic acid and volatile acid by human dental plaque and the effect of plaque buffering and acidic system strength on pH. Archs Oral Biol 17 (1972) : 537-545.
- Geddes, D.A.M. Acids produced by human dental plaque metabolism in situ. Caries Res 9 (1975) : 98-109.
- Gibbons, R.J., and van Houte, J. Selective bacterial adherence to oral epithelial surface and its role as an ecological determinant. Infec Immun 3 (1971) : 567-573.
- Hara, A.T., et al. Protective effect of the dental pellicle against erosive challenges in situ. J Dent Res 85 (2006) : 612-616.
- Higham, S.M., and Edgar, W.M. Effect of Parafilm<sup>®</sup> and cheese chewing on human dental plaque pH and metabolism. Caries Res 23 (1989) : 42-48.
- Imfeld, T.N., and Lutz, F. Intraplaque acid formation assessed in vivo in children and young adults. Pediatr Dent 2 (1980) : 87-93.
- Jensdottir, T., Nauntofte, B., Buchwald, C., and Bardow, A. Effects of sucking acidic candy on whole-mouth saliva composition. Caries Res 39 (2005) : 468-474.
- Jeong, S.H., Kang, S.M., Kwon, H.K., and Kim, B.I. Influence of different storage media on microhardness of enamel surface. The IADR 86th General Session & Exhibition. July 5, 2008. (abstract 3268)
- Kidd, E.A.M. Essentials of dental caries. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford : Oxford university press, 2005.
- Lagerlof, F., and Dawes, C. The volume of saliva in the mouth before and after swallowing. J Dent Res 5 (1984) : 618-621.
- Lendenmann, U., Grogan, J., and Oppenheim, F.G. Saliva and dental pellicle - A review. Adv Dent Res 14 (2000) : 22-28.
- Ludwig, T.G., and Bibby, B.G. Acid production from different carbohydrate foods in plaque and saliva. J Dent Res 1 (1957) : 56-60.

- Malekipour, M.R., Messripour, M., and Shirani, F. Buffering capacity of saliva in patients with active dental caries. Asian J Biochem 3 (2008) : 280-283.
- Margolis, H.C., and Moreno, E.C. Composition of pooled plaque fluid from caries-free and caries-positive individuals following sucrose exposure. J Dent Res 71 (1992) : 1776-1784.
- Margolis, H.C., Murphy, B.J., and Moreno, E.C. Development of caries-like lesion in partially saturated lactate buffers. Caries Res 19 (1985) : 36-45.
- Margolis, H.C., Zhang, Y.P., Lee, C.Y., Kent, Jr.R.L., and Moreno, E.C. Kinetics of enamel demineralization in vitro. J Dent Res 7 (1999) : 1326-1335.
- Mendham, M., Denney, R.C., Barnes, J.D., and Thomas, M. Vogel's: Textbook of quantitative chemical analysis. 6<sup>th</sup> ed. Singapore : Prentice hall, 2000.
- Meyer-Lueckel, H., Chatzidakis, A.J., and Kielbassa, A.M. Effect of various calcium/ phosphates ratios of carboxymethylcellulose-based saliva substitutes on mineral loss of bovine enamel in vitro. J Dent 35 (2007) : 851-857.
- Meurman, J.H., and ten Cate, J.M. Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. Eur J Oral Sci 104 (1996) : 199-206.
- Moore, B.W., Carter, W.M.J., Dunn, J.K., and Fosdick, L.S. The formation of lactic acid in dental plaque I. J Dent Res 5 (1956) : 778-785.
- Moreno, E.C., and Margolis, H.C. Composition of human plaque fluid. J Dent Res 67 (1988) : 1181-1189.
- Nakabayashi, N., and Pashley, D.H. Hybridization of dental hard tissues. Tokyo : Quintessence, 1998.
- Nanci, A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. 6<sup>th</sup> ed. St. Louis : Mosby, 2003.
- Newbrun, E. Cariology. 3<sup>rd</sup> ed. Chicago : Quintessence, 1989.
- Nikita, V.L., Vidya, B.S., and Sham, S.B. Disinfection Methods of Extracted Human Teeth. Oral Health Comm Dent 2 (2007) : 27-29.
- Piemjai, M., Thaveeratana, A., and Nakabayashi, N. Marginal integrity between a prefabricated composite block and enamel, DEJ, and dentin. Am J Dent 23 (2010) : 285-291.

- Piemjai, M., Watanabe, A., Iwasaki, Y., and Nakabayashi, N. Effect of remaining demineralised dentine on dental microleakage accessed by a dye penetration: how to inhibit microleakage? J Dent 32 (2004) : 495-501.
- Preetha, A., and Banerjee, R. Comparison of artificial saliva substitutes. Trends Biomater Artif Organs 18 (2005) : 178-186.
- Scheie, A.A., Fejerskov, O., Lingstrom, P., Birkhed, D., and Manji, F. Use of palladium touch microelectrodes under field conditions for in vivo assessment of dental plaque pH in children. Caries Res 26 (1992) : 44-52.
- Smith, H.G.Jr., and Bauer, P.J. Light-induced permeability change in sonicated bovine disk: Arsenazo III and flow system measurements. Bio chemistry 18 (1979) : 5067-5073.
- Stookey, G.K. The effect of saliva on dental caries. J Am Dent Assoc 139 (2008) : 11s-7s.
- Strephan, R.M. Changes in the hydrogen ion concentration on tooth surface and in carious lesions. J Am Dent Assoc 27 (1940) : 718-723.
- Strephan, R.M. Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity. J Dent Res 23 (1944) : 257-266.
- Tanaka, M., and Kadoma, Y. Comparative reduction of enamel demineralization by calcium and phosphate in vitro. Caries Res 34 (2000) : 241-245.
- Thylstrup, A., and Fejerskov, O. Textbook of clinical cariology. 2<sup>nd</sup> ed. Copenhagen : Munksgaard, 1994.
- Toro, M.J., et al. In vitro fluoride dose-response study of sterilized enamel lesions. Caries Res 34 (2000) : 246-253.
- Wefel, J.S., and Harless, J.D. Comparison of artificial white spots by microradiography and polarized light microscopy. J Dent Res 11 (1984) : 1271-1275.
- Wefel, J.S., Heilman, J.S., and Jordan, T.H. Comparisons of in vitro root caries models. Caries Res 29 (1995) : 204-209.
- Welch, M.W., Hamar, D.W., and Fettman, M.J. Method comparison for calcium determination by flame atomic absorption spectrophotometry in the presence of phosphate. Clin Chem 36 (1990) : 351-354.

West, N.X., Hughes, J.A., and Addy, M. Erosion of dentine and enamel in vitro by dietary acids: the effect of temperature, acid character, concentration and exposure time. J Oral Rehab 27 (2000) : 875-880.

Yardeni, J. The weight losses of intact teeth in different buffers at varying pH values. J Dent Res 29 (1950) : 278-284.

Yardeni, J. Further experiments with intact teeth placed in various buffer solutions. J Dent Res 31 (1952) : 393-397.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 สถิติพรรณนาแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นเคลือบฟันที่แช่ในสารละลายจำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 8 ช่วงเวลา

time	grsolution		N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
7 days	1 acid	% wt loss	6	27.10	34.56	31.8517	2.88002
	2 saliva	% wt loss	6	-0.63	-0.46	-0.5483	0.07026
	3 acid+saliva	% wt loss	6	6.13	8.71	7.4433	1.03371
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	1.40	2.07	1.7917	0.29869
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.63	1.60	1.0900	0.39033
3 days	1 acid	% wt loss	6	24.10	31.33	27.3833	2.77636
	2 saliva	% wt loss	6	-0.22	-0.17	-0.1867	0.01862
	3 acid+saliva	% wt loss	6	4.85	6.19	5.4017	0.53424
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	1.22	1.58	1.3767	0.15782
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.44	1.08	0.7300	0.22856
1 day	1 acid	% wt loss	6	13.70	19.18	16.2450	1.93553
	2 saliva	% wt loss	6	-0.17	-0.10	-0.1500	0.02683
	3 acid+saliva	% wt loss	6	2.53	3.20	2.8883	0.24260
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.61	0.90	0.7283	0.11409
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.07	0.30	0.1567	0.08959
5 hrs	1 acid	% wt loss	6	3.73	5.54	4.7100	0.75628
	2 saliva	% wt loss	6	-0.12	0.00	-0.0683	0.05382
	3 acid+saliva	% wt loss	6	0.78	0.95	0.8450	0.06442
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.40	0.50	0.4533	0.03724
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.00	0.09	0.0150	0.03674
1 hr	1 acid	% wt loss	6	3.01	3.52	3.2217	0.19052
	2 saliva	% wt loss	6	-1.10	0.00	-0.167	0.04082
	3 acid+saliva	% wt loss	6	0.32	0.53	0.3833	0.07815
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.00	0.09	0.0283	0.04401
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.00	0.00	0.0000	0.00000



30 mins	1 acid	% wt loss	6	1.22	1.65	1.3750	0.16022
	2 saliva	% wt loss	6	-0.09	0.00	-0.0417	0.04579
	3 acid+saliva	% wt loss	6	0.25	0.46	0.3400	0.08626
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.00	0.10	0.0317	0.04916
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.00	0.10	0.0167	0.04082
15 mins	1 acid	% wt loss	6	0.75	0.83	0.7783	0.02994
	2 saliva	% wt loss	6	-0.08	0.00	-0.0133	0.03266
	3 acid+saliva	% wt loss	6	0.19	0.38	0.2950	0.08758
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.00	0.09	0.0400	0.04427
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.00	0.00	0.0000	0.00000
5 mins	1 acid	% wt loss	6	0.31	0.63	0.4867	0.10367
	2 saliva	% wt loss	6	-0.09	0.00	-0.0400	0.04427
	3 acid+saliva	% wt loss	6	0.16	0.25	0.1933	0.03141
	4 acid+saliva+HA	% wt loss	6	0.00	0.08	0.0133	0.03266
	5 acid+saliva+HE	% wt loss	6	0.00	0.07	0.0117	0.02858

ตารางที่ 8 สถิติพรรณนาแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น (0 นาที) ของสารละลายในกลุ่มควบคุม

grsolution		N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 acid	pH Cont Before	48	2.29	2.37	2.3231	0.01870
2 saliva	pH Cont Before	48	6.94	7.04	6.9969	0.02135
3 acid+saliva	pH Cont Before	48	3.17	3.25	3.2054	0.01810
4 acid+saliva+HA	pH Cont Before	48	3.46	3.58	3.5206	0.02809
5 acid+saliva+HE	pH Cont Before	48	3.17	3.25	3.2069	0.01858

ตารางที่ 9 สถิติพรรณนาแสดงค่าความเป็นกรด-ต่างของสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 8 ช่วงเวลา

time	grsolution		N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
7 days	1 acid	pH Test After	6	3.94	4.09	4.0200	.05329
	2 saliva	pH Test After	6	6.96	7.01	6.9883	.01941
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.42	3.48	3.4533	.02338
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.57	3.62	3.5900	.01789
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.17	3.25	3.2200	.02966
3 days	1 acid	pH Test After	6	3.78	3.86	3.8250	.02811
	2 saliva	pH Test After	6	6.97	7.00	6.9817	.01169
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.41	3.45	3.4283	.01329
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.56	3.60	3.5783	.01722
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.18	3.22	3.2017	.01722
1 day	1 acid	pH Test After	6	3.32	3.39	3.3500	.02608
	2 saliva	pH Test After	6	6.97	7.02	6.9950	.01761
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.31	3.35	3.3250	.01517
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.55	3.60	3.5783	.01835
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.21	3.27	3.2500	.02280
5 hrs	1 acid	pH Test After	6	2.73	2.77	2.7517	.01602
	2 saliva	pH Test After	6	6.97	7.00	6.9850	.01049
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.22	3.26	3.2300	.01549
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.53	3.55	3.5400	.01095
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.18	3.21	3.1950	.01049
1 hr	1 acid	pH Test After	6	2.46	2.53	2.4983	.02639
	2 saliva	pH Test After	6	6.97	7.03	6.9950	.02258
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.21	3.25	3.2283	.01472
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.53	3.56	3.5483	.01169
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.18	3.23	3.2033	.01966

30 mins	1 acid	pH Test After	6	2.39	2.43	2.4083	.01472
	2 saliva	pH Test After	6	6.98	7.03	7.0100	.02000
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.19	3.23	3.2083	.01835
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.53	3.62	3.5817	.03430
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.19	3.24	3.2083	.01941
15 mins	1 acid	pH Test After	6	2.32	2.35	2.3333	.01366
	2 saliva	pH Test After	6	7.01	7.03	7.0217	.00753
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.18	3.24	3.2083	.02041
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.51	3.61	3.5717	.03656
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.19	3.25	3.2183	.02317
5 mins	1 acid	pH Test After	6	2.32	2.35	2.3350	.01049
	2 saliva	pH Test After	6	7.00	7.05	7.0217	.01722
	3 acid+saliva	pH Test After	6	3.19	3.23	3.2117	.01602
	4 acid+saliva+HA	pH Test After	6	3.50	3.60	3.5333	.03445
	5 acid+saliva+HE	pH Test After	6	3.18	3.23	3.2033	.01862

ตารางที่ 10 สถิติพรรณนาแสดงปริมาณแคลเซียมเริ่มต้นในสารละลายกลุ่มควบคุม

grsolution	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 acid Ca cont ppm	6	-2.34	.00	-1.4150	.92846
2 saliva Ca cont ppm	6	18.33	22.35	20.6950	1.78637
3 acid+saliva Ca cont ppm	6	13.29	14.85	14.1200	.54446
4 acid+saliva+HA Ca cont ppm	6	450.80	655.80	5.2293E2	74.58189
5 acid+saliva+HE Ca cont ppm	6	18.45	21.21	19.4850	.97153

ตารางที่ 11 สถิติพรรณนาแสดงปริมาณแคลเซียมในสารละลายที่ใช้จำลองสภาวะช่องปากทั้ง 5 กลุ่ม ใน 4 ช่วงเวลา

time	grsolution		N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
7 days	1 acid	Ca test ppm	6	572.90	671.90	6.0668E2	33.96183
	2 saliva	Ca test ppm	6	11.49	15.96	13.1017	1.71883
	3 acid+saliva	Ca test ppm	6	266.90	325.40	2.8708E2	22.22642
	4 acid+saliva+HA	Ca test ppm	6	681.20	1037.00	8.7960E2	147.91614
	5 acid+saliva+HE	Ca test ppm	6	55.95	73.30	65.4883	5.94283
3 days	1 acid	Ca test ppm	6	393.90	464.50	4.4317E2	25.77089
	2 saliva	Ca test ppm	6	11.29	19.76	16.6900	3.03138
	3 acid+saliva	Ca test ppm	6	210.80	269.70	2.3993E2	22.64126
	4 acid+saliva+HA	Ca test ppm	6	627.80	711.20	6.6190E2	31.88373
	5 acid+saliva+HE	Ca test ppm	6	39.41	53.37	46.3000	5.41795
1 day	1 acid	Ca test ppm	6	243.30	314.10	2.7845E2	30.31961
	2 saliva	Ca test ppm	6	18.81	20.33	19.5483	.57600
	3 acid+saliva	Ca test ppm	6	82.71	133.40	1.0198E2	17.87759
	4 acid+saliva+HA	Ca test ppm	6	438.60	649.60	5.7787E2	73.94145
	5 acid+saliva+HE	Ca test ppm	6	30.02	43.76	34.4967	5.41859
5 hrs	1 acid	Ca test ppm	6	112.20	198.70	1.5561E2	30.38925
	2 saliva	Ca test ppm	6	17.97	20.83	19.5483	1.19802
	3 acid+saliva	Ca test ppm	6	33.03	67.79	51.8250	11.62200
	4 acid+saliva+HA	Ca test ppm	6	381.60	797.60	5.2673E2	167.77994
	5 acid+saliva+HE	Ca test ppm	6	22.03	28.93	25.4783	2.64834

ตารางที่ 12 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

time	grsolution		wt_loss100	pHTA
7 days	1 acid	N	6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>		
		Mean	31.8517	4.0200
		Std. Deviation	2.88002	.05329
		Most Extreme Differences		
		Absolute	.229	.167
		Positive	.174	.120
		Negative	-.229	-.167
		Kolmogorov-Smirnov Z	.562	.408
Asymp. Sig. (2-tailed)	.911	.996		
2 saliva		N	6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>		
		Mean	-.5483	6.9883
		Std. Deviation	.07026	.01941
		Most Extreme Differences		
		Absolute	.233	.226
		Positive	.233	.161
		Negative	-.201	-.226
		Kolmogorov-Smirnov Z	.570	.554
Asymp. Sig. (2-tailed)	.902	.919		
3 acid+saliva		N	6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>		
		Mean	7.4433	3.4533
		Std. Deviation	1.03371	.02338
		Most Extreme Differences		
		Absolute	.261	.279
		Positive	.211	.174
Negative	-.261	-.279		
Kolmogorov-Smirnov Z	.639	.683		

		Asymp. Sig. (2-tailed)	.808	.739
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	1.7917	3.5900
		Std. Deviation	.29869	.01789
	Most Extreme Differences	Absolute	.257	.212
		Positive	.185	.212
		Negative	-.257	-.132
	Kolmogorov-Smirnov Z		.630	.519
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.822	.950
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	1.0900	3.2200
		Std. Deviation	.39033	.02966
	Most Extreme Differences	Absolute	.187	.299
		Positive	.167	.156
		Negative	-.187	-.299
	Kolmogorov-Smirnov Z		.457	.732
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.985	.658
3 days	1 acid	N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	27.3833	3.8250
		Std. Deviation	2.77636	.02811
	Most Extreme Differences	Absolute	.168	.203
		Positive	.168	.130
		Negative	-.118	-.203
	Kolmogorov-Smirnov Z		.412	.498
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.996	.965
2 saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.1867	6.9817

		Std. Deviation	.01862	.01169
	Most Extreme Differences	Absolute	.262	.223
		Positive	.185	.223
		Negative	-.262	-.159
	Kolmogorov-Smirnov Z		.642	.547
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.804	.926
3 acid+saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	5.4017	3.4283
		Std. Deviation	.53424	.01329
	Most Extreme Differences	Absolute	.161	.283
		Positive	.161	.283
		Negative	-.151	-.217
	Kolmogorov-Smirnov Z		.394	.694
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.998	.721
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	1.3767	3.5783
		Std. Deviation	.15782	.01722
	Most Extreme Differences	Absolute	.250	.251
		Positive	.250	.190
		Negative	-.211	-.251
	Kolmogorov-Smirnov Z		.613	.615
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.846	.844
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.7300	3.2017
		Std. Deviation	.22856	.01722
	Most Extreme Differences	Absolute	.137	.251
		Positive	.137	.251
		Negative	-.120	-.190

		Kolmogorov-Smirnov Z		.335	.615
		Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	.844
1 day	1 acid	N		6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	16.2450	3.3500
			Std. Deviation	1.93553	.02608
		Most Extreme Differences	Absolute	.180	.167
			Positive	.144	.167
			Negative	-.180	-.125
		Kolmogorov-Smirnov Z		.441	.408
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.990	.996
2 saliva		N		6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.1500	6.9950
			Std. Deviation	.02683	.01761
		Most Extreme Differences	Absolute	.312	.278
			Positive	.312	.222
			Negative	-.228	-.278
		Kolmogorov-Smirnov Z		.764	.682
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.603	.741
3 acid+saliva		N		6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	2.8883	3.3250
			Std. Deviation	.24260	.01517
		Most Extreme Differences	Absolute	.130	.204
			Positive	.099	.204
			Negative	-.130	-.161
		Kolmogorov-Smirnov Z		.319	.500
		Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	.964
4 acid+saliva+HA		N		6	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.7283	3.5783



		Std. Deviation	.11409	.01835
	Most Extreme Differences	Absolute	.184	.238
		Positive	.184	.175
		Negative	-.150	-.238
	Kolmogorov-Smirnov Z		.450	.582
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.988	.887
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.1567	3.2500
		Std. Deviation	.08959	.02280
	Most Extreme Differences	Absolute	.240	.190
		Positive	.240	.190
		Negative	-.167	-.169
	Kolmogorov-Smirnov Z		.589	.466
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.879	.982
5 hrs	1 acid	N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	4.7100	2.7517
		Std. Deviation	.75628	.01602
	Most Extreme Differences	Absolute	.197	.208
		Positive	.182	.208
		Negative	-.197	-.207
	Kolmogorov-Smirnov Z		.482	.510
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.974	.957
	2 saliva	N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.0683	6.9850
		Std. Deviation	.05382	.01049
	Most Extreme Differences	Absolute	.323	.183
		Positive	.323	.183
		Negative	-.231	-.183

		Kolmogorov-Smirnov Z		.791	.449
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.558	.988
3 acid+saliva	N			6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		.8450	3.2300
		Std. Deviation		.06442	.01549
	Most Extreme Differences	Absolute		.259	.333
		Positive		.259	.333
		Negative		-.156	-.259
		Kolmogorov-Smirnov Z		.634	.816
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.817	.518
4 acid+saliva+HA	N			6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		.4533	3.5400
		Std. Deviation		.03724	.01095
	Most Extreme Differences	Absolute		.202	.319
		Positive		.202	.319
		Negative		-.171	-.319
		Kolmogorov-Smirnov Z		.496	.782
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.967	.573
5 acid+saliva+HE	N			6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		.0150	3.1950
		Std. Deviation		.03674	.01049
	Most Extreme Differences	Absolute		.492	.183
		Positive		.492	.183
		Negative		-.342	-.183
		Kolmogorov-Smirnov Z		1.205	.449
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.110	.988
1 hr	1 acid	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		3.2217	2.4983

		Std. Deviation	.19052	.02639
	Most Extreme Differences	Absolute	.212	.171
		Positive	.212	.124
		Negative	-.133	-.171
	Kolmogorov-Smirnov Z		.519	.418
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.950	.995
2 saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.0167	6.9950
		Std. Deviation	.04082	.02258
	Most Extreme Differences	Absolute	.492	.247
		Positive	.342	.247
		Negative	-.492	-.134
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.205	.604
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.110	.858
3 acid+saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.3833	3.2283
		Std. Deviation	.07815	.01472
	Most Extreme Differences	Absolute	.284	.214
		Positive	.284	.214
		Negative	-.209	-.119
	Kolmogorov-Smirnov Z		.696	.525
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.718	.946
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0283	3.5483
		Std. Deviation	.04401	.01169
	Most Extreme Differences	Absolute	.407	.223
		Positive	.407	.159
		Negative	-.260	-.223

	Kolmogorov-Smirnov Z		.997	.547
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.274	.926
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0000	3.2033
		Std. Deviation	.00000 <sup>c</sup>	.01966
	Most Extreme Differences	Absolute		.251
		Positive		.251
		Negative		-.135
	Kolmogorov-Smirnov Z			.615
	Asymp. Sig. (2-tailed)			.844
30 mins 1 acid	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	1.3750	2.4083
		Std. Deviation	.16022	.01472
	Most Extreme Differences	Absolute	.202	.214
		Positive	.202	.214
		Negative	-.167	-.119
	Kolmogorov-Smirnov Z		.495	.525
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.967	.946
2 saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.0417	7.0100
		Std. Deviation	.04579	.02000
	Most Extreme Differences	Absolute	.319	.191
		Positive	.299	.191
		Negative	-.319	-.191
	Kolmogorov-Smirnov Z		.780	.469
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.576	.980
3 acid+saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.3400	3.2083

		Std. Deviation	.08626	.01835
	Most Extreme Differences	Absolute	.213	.215
		Positive	.213	.175
		Negative	-.185	-.215
	Kolmogorov-Smirnov Z		.521	.525
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.949	.945
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0317	3.5817
		Std. Deviation	.04916	.03430
	Most Extreme Differences	Absolute	.407	.203
		Positive	.407	.133
		Negative	-.260	-.203
	Kolmogorov-Smirnov Z		.997	.498
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.273	.965
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0167	3.2083
		Std. Deviation	.04082	.01941
	Most Extreme Differences	Absolute	.492	.172
		Positive	.492	.166
		Negative	-.342	-.172
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.205	.422
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.110	.994
15 mins 1 acid	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.7783	2.3333
		Std. Deviation	.02994	.01366
	Most Extreme Differences	Absolute	.182	.263
		Positive	.182	.263
		Negative	-.172	-.222

		Kolmogorov-Smirnov Z	.445	.644
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.989	.801
2 saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.0133	7.0217
		Std. Deviation	.03266	.00753
	Most Extreme Differences	Absolute	.492	.254
		Positive	.342	.254
		Negative	-.492	-.246
		Kolmogorov-Smirnov Z	1.205	.623
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.110	.833
3 acid+saliva	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.2950	3.2083
		Std. Deviation	.08758	.02041
	Most Extreme Differences	Absolute	.271	.175
		Positive	.235	.158
		Negative	-.271	-.175
		Kolmogorov-Smirnov Z	.664	.428
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.770	.993
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0400	3.5717
		Std. Deviation	.04427	.03656
	Most Extreme Differences	Absolute	.317	.208
		Positive	.317	.147
		Negative	-.251	-.208
		Kolmogorov-Smirnov Z	.776	.510
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.583	.957
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0000	3.2183

		Std. Deviation	.00000 <sup>c</sup>	.02317
	Most Extreme Differences	Absolute		.159
		Positive		.140
		Negative		-.159
	Kolmogorov-Smirnov Z			.388
	Asymp. Sig. (2-tailed)			.998
5 mins	1 acid	N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.4867	2.3350
		Std. Deviation	.10367	.01049
	Most Extreme Differences	Absolute	.269	.183
		Positive	.207	.183
		Negative	-.269	-.183
	Kolmogorov-Smirnov Z		.660	.449
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.776	.988
2 saliva		N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	-.0400	7.0217
		Std. Deviation	.04427	.01722
	Most Extreme Differences	Absolute	.317	.205
		Positive	.251	.205
		Negative	-.317	-.128
	Kolmogorov-Smirnov Z		.776	.503
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.583	.962
3 acid+saliva		N	6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.1933	3.2117
		Std. Deviation	.03141	.01602
	Most Extreme Differences	Absolute	.249	.208
		Positive	.249	.208
		Negative	-.144	-.207

	Kolmogorov-Smirnov Z		.611	.510
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.850	.957
4 acid+saliva+HA	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0133	3.5333
		Std. Deviation	.03266	.03445
	Most Extreme Differences	Absolute	.492	.372
		Positive	.492	.372
		Negative	-.342	-.183
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.205	.911
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.110	.378
5 acid+saliva+HE	N		6	6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0117	3.2033
		Std. Deviation	.02858	.01862
	Most Extreme Differences	Absolute	.492	.238
		Positive	.492	.238
		Negative	-.342	-.148
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.205	.582
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.110	.887

a. Test distribution is Normal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 13 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณแคลเซียมภายในสารละลาย

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

time	grsolution		CaT_ppm
7 days	1 acid	N	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	
		Mean	606.6833
		Std. Deviation	33.96183
		Most Extreme Differences	
		Absolute	.355
		Positive	.355
		Negative	-.160
Kolmogorov-Smirnov Z	.871		
Asymp. Sig. (2-tailed)	.434		
2 saliva		N	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	
		Mean	13.1017
		Std. Deviation	1.71883
		Most Extreme Differences	
		Absolute	.260
		Positive	.260
		Negative	-.174
Kolmogorov-Smirnov Z	.636		
Asymp. Sig. (2-tailed)	.814		
3 acid+saliva		N	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	
		Mean	287.0833
		Std. Deviation	22.22642
		Most Extreme Differences	
		Absolute	.251
		Positive	.251
		Negative	-.182
Kolmogorov-Smirnov Z	.616		
Asymp. Sig. (2-tailed)	.843		

4 acid+saliva+HA	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	879.6000
		Std. Deviation	1.47916E2
	Most Extreme Differences	Absolute	.220
		Positive	.185
		Negative	-.220
	Kolmogorov-Smirnov Z		.540
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.933
5 acid+saliva+HE	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	65.4883
		Std. Deviation	5.94283
	Most Extreme Differences	Absolute	.220
		Positive	.118
		Negative	-.220
	Kolmogorov-Smirnov Z		.539
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.933
3 days	1 acid	N	6
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean
			443.1667
		Std. Deviation	25.77089
	Most Extreme Differences	Absolute	.260
		Positive	.204
		Negative	-.260
	Kolmogorov-Smirnov Z		.637
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.812
2 saliva	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	16.6900
		Std. Deviation	3.03138

	Most Extreme Differences	Absolute	.190
		Positive	.156
		Negative	-.190
	Kolmogorov-Smirnov Z		.466
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.982
3 acid+saliva	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	239.9333
		Std. Deviation	22.64126
	Most Extreme Differences	Absolute	.245
		Positive	.193
		Negative	-.245
	Kolmogorov-Smirnov Z		.600
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.865
4 acid+saliva+HA	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	661.9000
		Std. Deviation	31.88373
	Most Extreme Differences	Absolute	.260
		Positive	.260
		Negative	-.144
	Kolmogorov-Smirnov Z		.636
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.813
5 acid+saliva+HE	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	46.3000
		Std. Deviation	5.41795
	Most Extreme Differences	Absolute	.234
		Positive	.196
		Negative	-.234
	Kolmogorov-Smirnov Z		.573

		Asymp. Sig. (2-tailed)	.897	
1 day	1 acid	N	6	
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	278.4500
			Std. Deviation	30.31961
		Most Extreme Differences	Absolute	.212
			Positive	.212
			Negative	-.176
		Kolmogorov-Smirnov Z	.519	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.950	
2 saliva		N	6	
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	19.5483
			Std. Deviation	.57600
		Most Extreme Differences	Absolute	.160
			Positive	.160
			Negative	-.160
		Kolmogorov-Smirnov Z	.393	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.998	
3 acid+saliva		N	6	
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	101.9800
			Std. Deviation	17.87759
		Most Extreme Differences	Absolute	.272
			Positive	.272
			Negative	-.143
		Kolmogorov-Smirnov Z	.666	
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.767	
4 acid+saliva+HA		N	6	
		Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	577.8667
			Std. Deviation	73.94145

		Most Extreme Differences	Absolute	.290
			Positive	.166
			Negative	-.290
		Kolmogorov-Smirnov Z		.710
		Asymp. Sig. (2-tailed)		.694
5 acid+saliva+HE	N			6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		34.4967
		Std. Deviation		5.41859
	Most Extreme Differences	Absolute		.272
		Positive		.272
		Negative		-.204
	Kolmogorov-Smirnov Z			.666
	Asymp. Sig. (2-tailed)			.767
5 hrs	1 acid	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		155.6083
		Std. Deviation		30.38925
	Most Extreme Differences	Absolute		.214
		Positive		.168
		Negative		-.214
	Kolmogorov-Smirnov Z			.523
	Asymp. Sig. (2-tailed)			.947
	2 saliva	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean		19.5483
		Std. Deviation		1.19802
	Most Extreme Differences	Absolute		.200
		Positive		.188
		Negative		-.200
	Kolmogorov-Smirnov Z			.491

		Asymp. Sig. (2-tailed)	.969
3 acid+saliva	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	51.8250
		Std. Deviation	11.62200
	Most Extreme Differences	Absolute	.202
		Positive	.144
		Negative	-.202
	Kolmogorov-Smirnov Z		.495
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.967
4 acid+saliva+HA	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	526.7333
		Std. Deviation	1.67780E2
	Most Extreme Differences	Absolute	.261
		Positive	.261
		Negative	-.194
	Kolmogorov-Smirnov Z		.639
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.809
5 acid+saliva+HE	N		6
	Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	25.4783
		Std. Deviation	2.64834
	Most Extreme Differences	Absolute	.218
		Positive	.197
		Negative	-.218
	Kolmogorov-Smirnov Z		.535
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.937

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของแต่ละปัจจัย

ตัวแปรต้นคือกลุ่มสารละลายที่แตกต่างกัน 5 กลุ่ม และระยะเวลาการแช่ขึ้นตัวอย่าง ตัวแปรตามคือปัจจัย ได้แก่ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแคลเซียมภายในสารละลาย

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: %wt loss

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9781.488 <sup>a</sup>	19	514.815	466.122	.000
Intercept	3130.795	1	3130.795	2.835E3	.000
grsolution	6962.818	4	1740.704	1.576E3	.000
time	910.286	3	303.429	274.729	.000
<b>grsolution * time</b>	1908.384	12	159.032	143.990	.000
Error	110.446	100	1.104		
Total	13022.729	120			
Corrected Total	9891.934	119			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .987)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH Test After

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	253.615 <sup>a</sup>	19	13.348	2.789E4	.000
Intercept	2041.215	1	2041.215	4.264E6	.000
grsolution	247.659	4	61.915	1.293E5	.000
time	1.727	3	.576	1.202E3	.000
<b>grsolution * time</b>	4.229	12	.352	736.313	.000
Error	.048	100	.000		
Total	2294.878	120			
Corrected Total	253.663	119			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: **Ca Test ppm**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.256E6 <sup>a</sup>	19	434551.163	140.746	.000
Intercept	7655240.109	1	7655240.109	2.479E3	.000
grsolution	6897153.199	4	1724288.300	558.476	.000
time	797748.575	3	265916.192	86.127	.000
<b>grsolution * time</b>	561570.319	12	46797.527	15.157	.000
Error	308749.036	100	3087.490		
Total	1.622E7	120			
Corrected Total	8565221.129	119			

a. R Squared = .964 (Adjusted R Squared = .957)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 15 ปริมาณแคลเซียมในสารละลายกลุ่มควบคุมก่อนและหลัง (ppm) (จากงานวิจัยนำร่อง) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

กลุ่มที่ 1 น้ำปราศจากไอออนผสมกรดแลคติก

Group1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
CaB	6	-1.4717	1.83383	.74866	-3.3962	.4528	-3.31	.62
CaA	6	-1.4150	.92846	.37904	-2.3894	-.4406	-2.34	.00
Total	12	-1.4433	1.38612	.40014	-2.3240	-.5626	-3.31	.62

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
15.736	1	10	.003

Robust Tests of Equality of Means

	Statistic <sup>a</sup>	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	.005	1	7.405	.948

a. Asymptotically F distributed.

กลุ่มที่ 2 น้ำลายเทียม

Group2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
CaB	6	48.7333	4.12197	1.68279	44.4076	53.0591	44.30	56.20
CaA	6	49.8200	3.61042	1.47395	46.0311	53.6089	46.69	55.93
Total	12	49.2767	3.73767	1.07897	46.9019	51.6515	44.30	56.20

## Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.001	1	10	.971

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.543	1	3.543	.236	.638
Within Groups	150.129	10	15.013		
Total	153.672	11			

กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 นำลายเทียบผสมกรดแลคติก

Group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
CaB	6	45.1950	1.75668	.71716	43.3515	47.0385	43.13	48.34
CaA	6	44.6733	.86336	.35246	43.7673	45.5794	43.60	46.03
Total	12	44.9342	1.34749	.38899	44.0780	45.7903	43.13	48.34

## Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.381	1	10	.267

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.816	1	.816	.426	.529
Within Groups	19.156	10	1.916		
Total	19.973	11			

กลุ่มที่ 4 นำลายพิมพ์ผสมกรดแลคติกและมีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์กระจายตัวอยู่

Group4	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Ca 5h	6	5.2293E2	74.58189	30.44793	444.6644	601.2022	450.80	655.80
Ca 24h	6	4.8267E2	28.88838	11.79363	452.3502	512.9832	454.60	534.20
Ca 3D	6	4.9113E2	35.86300	14.64101	453.4974	528.7692	440.40	530.00
Ca 7D	6	5.1187E2	18.26720	7.45755	492.6964	531.0369	484.20	538.20
Total	24	5.0215E2	44.84184	9.15330	483.2150	521.0850	440.40	655.80

#### Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.688	3	20	.074

#### ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6163.967	3	2054.656	1.025	.403
Within Groups	40084.213	20	2004.211		
Total	46248.180	23			

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกลุ่มควบคุมก่อนและหลัง และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Descriptive Statistics

grsolution	Type pH	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
1 acid	pH cont after	48	2.29	2.38	2.3265	.02088
	pH cont before	48	2.29	2.37	2.3231	.01870
2 saliva	pH cont after	48	6.96	7.05	7.0023	.01825
	pH cont before	48	6.94	7.04	6.9969	.02135
3 acid+saliva	pH cont after	48	3.17	3.25	3.2067	.01602
	pH cont before	48	3.17	3.25	3.2054	.01810
4 acid+saliva+HA	pH cont after	48	3.50	3.61	3.5519	.02750
	pH cont before	48	3.46	3.58	3.5206	.02809
5 acid+saliva+HE	pH cont after	48	3.18	3.26	3.2067	.01982
	pH cont before	48	3.17	3.25	3.2069	.01858

ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกลุ่มควบคุมก่อนและหลังโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะสารละลายในกลุ่มที่ 4

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.003	1	94	.957

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.023	1	.023	30.341	.000
Within Groups	.073	94	.001		
Total	.096	95			

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ปริมาณแคลเซียมในสารละลาย และค่าความเป็นกรด-ด่าง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		%wt loss	pH Test After	Ca Test ppm
N		240	480	150
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	2.7315	3.9257	225.0920
	Std. Deviation	6.88023	1.58605	2.62859E2
Most Extreme Differences	Absolute	.346	.351	.238
	Positive	.346	.351	.238
	Negative	-.313	-.171	-.193
Kolmogorov-Smirnov Z		5.357	7.699	2.917
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000

a. Test distribution is Normal.

แต่จะปัจจัยมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบด้วยวิธีสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน

			%wt loss	pH Test After	Ca Test ppm
Spearman's rho	%wt loss	Correlation Coefficient	1.000	-.251**	.722**
		Sig. (2-tailed)	.	.006	.000
		N	120	120	120
pH Test After		Correlation Coefficient	-.251**	1.000	-.045
		Sig. (2-tailed)	.006	.	.622
		N	120	120	120
Ca Test ppm		Correlation Coefficient	.722**	-.045	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.622	.
		N	120	120	120

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุทธิจิต สุนทรามา เกิดวันที่ 3 มิถุนายน 2523 ที่กรุงเทพมหานคร ได้ย้ายภูมิลำเนาไปอยู่จังหวัดขอนแก่นทั้งครอบครัวตั้งแต่อายุ 5 ปี ศึกษาในระดับมัธยมปลายที่โรงเรียนสตรีत्मอดินแดง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีเกียรตินิยมอันดับ 1 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2546 เข้าทำงานเป็นทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามเป็นเวลา 3 ปี หลังจากนั้นลาออกจากราชการเพื่อมาศึกษาต่อในกรุงเทพมหานคร และปฏิบัติงานที่คลินิกทันตแพทย์เอกชนจนถึงปัจจุบัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย