

ผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มีต่อการสูญเสียแร่ธาตุ  
ของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสอยู่กับวัสดุ : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ



นางสาว ฤดี สุมาลย์นพ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก


คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1560-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF FLUORIDE RELEASING MATERIALS ON DEMINERALIZATION  
OF ADJACENT WHITE SPOT LESION : IN VITRO STUDY



Miss Ruedee Sumalnop

สภามหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Faculty of Dentistry  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2002  
ISBN 974-17-1560-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของวัสดุบูรณะฟันชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มีต่อการสูญเสียแร่ธาตุ  
ของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสอยู่กับวัสดุ  
โดย นางสาว ฤดี สุมาลัยนพ  
สาขาวิชา ทันตกรรมสำหรับเด็ก  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง วัชรารภรณ์ ทักษิณทร์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ชัยวัฒน์ มณีมนุษย์

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ สมหมาย ชอบอิสระ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง วัชรารภรณ์ ทักษิณทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ชัยวัฒน์ มณีมนุษย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ เอมอร เบญจวงศ์กุลชัย)

ฤดี สุมาลัยนพ : ผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มีต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสอยู่กับวัสดุ : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ (EFFECT OF FLUORIDE RELEASING MATERIALS ON DEMINERALIZATION OF ADJACENT WHITE SPOT LESION : IN VITRO STUDY) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ทพญ. วัชรารัตน์ ทัดจันทร์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ทพ. ชัยวัฒน์ มณีบุษย์, 100 หน้า. ISBN 974-17-1560-9

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ 3 ชนิด โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณท์ Fuji II LC<sup>®</sup> capsule เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณท์ Compoglass<sup>®</sup> Flow เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณท์ Heliomolar<sup>®</sup> กับวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม ได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณท์ Z 250<sup>®</sup> และศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุแต่ละชนิดในกลุ่มทดลอง โดยใช้ฟันกรามถาวรจำนวน 60 ซี่ขนาด 2X4 ตารางมิลลิเมตร นำไปทำให้เกิดรอยโรคจุดขาวด้วยการแช่ขึ้นเคลือบฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ นำสารละลายไปวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อจัดแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม นำขึ้นเคลือบฟันไปสัมผัสกับวัสดุบูรณะ 4 ชนิด แล้วไปผ่านกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากเป็นเวลา 30 วัน โดยแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุวันละ 2.5 ชั่วโมง และแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุวันละ 21.5 ชั่วโมง ภายหลังทดลองครบ 30 วัน นำขึ้นเคลือบฟันแยกออกจากชิ้นวัสดุ แช่ขึ้นเคลือบฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ 96 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดปริมาณแคลเซียม และทำการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแคลเซียมของขึ้นเคลือบฟันหลังสัมผัสกับวัสดุบูรณะ

ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มขึ้นเคลือบฟันที่สัมผัสกับ Fuji II LC<sup>®</sup> capsule, Compoglass<sup>®</sup> Flow, Heliomolar<sup>®</sup> และ Z 250<sup>®</sup> มีค่าเฉลี่ยแคลเซียม  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในสารละลายเท่ากับ  $220.32 \pm 2.51$ ,  $221.18 \pm 2.55$ ,  $224.05 \pm 2.36$  และ  $224.41 \pm 4.34$  ไมโครโมลต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแคลเซียมของกลุ่มทดลองเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมด้วยสถิติแมนนวิทนี (Mann-Whitney U Test) พบว่ากลุ่มขึ้นเคลือบฟันที่สัมผัสกับ Fuji II LC<sup>®</sup> capsule และ Compoglass<sup>®</sup> Flow มีค่าเฉลี่ยแคลเซียมน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมระหว่างกลุ่มทดลองด้วยสถิติครุสคัล-วัลลิส (Kruskal – Wallis H Test) และแมนนวิทนีพบว่า กลุ่มขึ้นเคลือบฟันที่สัมผัสกับ Fuji II LC<sup>®</sup> capsule และ Compoglass<sup>®</sup> Flow มีค่าเฉลี่ยแคลเซียมน้อยกว่ากลุ่มขึ้นเคลือบฟันที่สัมผัสกับ Heliomolar<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าวัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้มากกว่าจะลดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสอยู่กับวัสดุได้มากกว่า อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิกต่อไป

ภาควิชา ทันตกรรมสำหรับเด็ก

สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4376110332 : MAJOR PEDIATRIC DENTISTRY

KEYWORD : FLUORIDE RELEASING MATERIALS / WHITE SPOT LESION / DEMINERALIZATION / CALCIUM / PH-CYCLE

RUEDEE SUMALNOP : EFFECT OF FLUORIDE RELEASING MATERIALS ON DEMINERALIZATION OF ADJACENT WHITE SPOT LESION : IN VITRO STUDY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WATCHARAPORN TASAJAN. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAIWAT MANEENUT, 100 pp. ISBN 974-17-1560-9

The objective of this laboratory study were to compare the effect of three fluoride releasing materials on demineralization of adjacent proximal white spot lesions of permanent molars. The three experimental groups were resin-modified glass ionomer cement (Fuji II LC<sup>®</sup> capsule), polyacid-modified resin composite (Compoglass<sup>®</sup> Flow), fluoride containing resin composite (Heliomolar<sup>®</sup>) and the control group using non-fluoride containing resin composite (Z 250<sup>®</sup>). Sixty specimens from permanent molars were sized into 2X4 square millimeters immersed in demineralizing solution for 96 hours to create subsurface white spot lesions. The enamel specimens were distributed into four groups by using the amount of calcium in demineralizing solution analyzed by atomic absorption spectrophotometer. Then the enamel specimens were mounted into direct proximal contact with each material and cycled in acid for 2.5 hours and in remineralizing solution for 21.5 hours, daily for 30 days. After pH-cycle, the enamel specimens were separated from materials and immersed in demineralizing solution for 96 hours. The amount of calcium from collected solution was analyzed.

The result showed that calcium (mean  $\pm$  S.D.) from demineralizing solution of Fuji II LC<sup>®</sup> capsule, Compoglass<sup>®</sup> Flow, Heliomolar<sup>®</sup>, and Z 250<sup>®</sup> were  $220.32 \pm 2.51$ ,  $221.18 \pm 2.55$ ,  $224.05 \pm 2.36$  and  $224.41 \pm 4.34$   $\mu\text{mole}/\text{cm}^2$ , respectively. Using Mann-Whitney U Test to compare the average amount of calcium between each experimental group and the control group, the average amount of calcium of Fuji II LC<sup>®</sup> capsule and Compoglass<sup>®</sup> Flow had significantly less than Z 250<sup>®</sup>. Comparing average amount of calcium among the experimental groups by using Kruskal – Wallis H Test and Mann-Whitney U Test, the average amount of calcium of Fuji II LC<sup>®</sup> capsule and Compoglass<sup>®</sup> Flow had significantly less than that of Heliomolar<sup>®</sup>. Therefore, the more releasing fluoride from material, the more effect on demineralization inhibition of adjacent white spot lesion. Nevertheless further laboratory and clinical study should be conducted.

Department/ Program Pediatric Dentistry

Student's signature.....

Field of study Pediatric Dentistry

Advisor's signature.....

Academic year 2002

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง วัชรารภรณ์ ทัดจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ชัยวัฒน์ มณีนุชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม และรองศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ เอมอร เบญจวงศ์กุลชัย ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาชีวเคมี นาง มารศรี อูชชิน นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาชีวเคมีและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือทันตวัสดุศาสตร์ และเจ้าหน้าที่คลินิกบัณฑิตศึกษาของภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทางสถิติ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทบวงมหาวิทยาลัย ซึ่งสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณบริษัท ดิจิทัล (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท แอคคอร์ดี คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท ยูนิตี้ เดนทัล จำกัด ซึ่งให้ความอนุเคราะห์วัสดุทันตกรรมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ช่วยเหลือในการทำงาน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฤดี สุมาลัยนพ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	6
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	6
สมมติฐานการวิจัย.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	7
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	8
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	8
ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย.....	8
รูปแบบการวิจัย.....	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคฟันผุ.....	10
กระบวนการเกิดโรคฟันผุในชั้นเคลือบฟัน.....	14
รอยโรคจุดขาว.....	16
บทบาทของฟลูออไรด์ในการป้องกันการเกิดฟันผุ.....	21
วัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์.....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	38
กลุ่มตัวอย่าง.....	38



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	42
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
แผนภูมิสรุปวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป.....	53
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	54
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	57
อภิปรายผลการวิจัย.....	57
สรุปผลการวิจัย.....	69
ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สรุปการศึกษาเกี่ยวกับผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์.....	5
	ต่อการผันกลับแร่ธาตุหรือการต้านทานการเกิดฟันผุของรอยโรคจุดขาว	
	ที่สัมผัสกับวัสดุ	
ตารางที่ 2	ปริมาณขององค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆในชั้นเคลือบฟันของฟันถาวร.....	11
ตารางที่ 3	สรุปคุณสมบัติวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ใช้ในงาน.....	30
	ทันตกรรมสำหรับเด็ก	
ตารางที่ 4	การกำหนดหมายเลขประจำชั้นฟัน.....	47
ตารางที่ 5	ขั้นตอนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลง.....	49
	ความเป็นกรดต่าง (pH cycle) ภายในช่องปาก	
ตารางที่ 6	ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	56
	ของชั้นฟันหลังจากการสัมผัสวัสดุ	
ตารางที่ 7	กลไกการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุ.....	60
	เปรียบเทียบขั้นตอนในห้องปฏิบัติการกับสภาวะภายในช่องปาก	
ตารางที่ 8	ปริมาณแคลเซียมก่อนการสัมผัสวัสดุ.....	92
ตารางที่ 9	ปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสวัสดุ.....	93

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	วงแหวนรายละเอียดและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ.....	10
	ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคฟันผุ	
ภาพที่ 2	ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางพันธุกรรมและ.....	10
	ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคฟันผุ	
ภาพที่ 3	รูปร่างท่อในชั้นเคลือบฟันและการจัดเรียงตัวของแร่ธาตุ.....	12
	ในท่อชั้นเคลือบฟัน	
ภาพที่ 4	การจัดเรียงตัวของผลึกแร่ธาตุในท่อชั้นเคลือบฟัน.....	12
ภาพที่ 5	การสร้างกรดจากแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์.....	14
	และการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน	
ภาพที่ 6	ลักษณะทางคลินิกของรอยโรคจุดขาว.....	18
ภาพที่ 7	ลักษณะทางจุลกายวิภาคของรอยโรคจุดขาว.....	19
ภาพที่ 8	ระดับการแทนที่ของฟลูออไรด์.....	22
	ที่เข้าไปเป็นองค์ประกอบในผลึกอะพาไทท์	
ภาพที่ 9	การตัดผิวเคลือบฟัน.....	43
ภาพที่ 10	การตัดขึ้นฟันขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร.....	43
ภาพที่ 11	การตัดแบ่งขึ้นฟันในฐานเรซิน.....	43
ภาพที่ 12	แบบพิมพ์เทฟลอนสำหรับเตรียมวัสดุบูรณะ.....	44
ภาพที่ 13	แบบพิมพ์เทฟลอนในกรอบพลาสติก.....	44
ภาพที่ 14	รูปทรงและขนาดของวัสดุบูรณะ.....	45
ภาพที่ 15	การใช้เครื่องวัดความแข็งของวัสดุพร้อมตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม.....	47
	กดให้ขึ้นฟันและขึ้นวัสดุแนบสนิทกัน	
ภาพที่ 16	การจัดตำแหน่งผิวฟันและวัสดุเลียนแบบการสัมผัสบริเวณด้านประชิด.....	48
	ระหว่างฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองและฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งในช่องปาก	
ภาพที่ 17	ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve).....	89
	เพื่อใช้ในการอ่านค่าความเข้มข้นแคลเซียมจากค่าการดูดกลืนแสง	

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรคฟันผุยังคงเป็นปัญหาทางทันตสาธารณสุขที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศไทย จากผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2543-2544 โดยกองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในเด็กกลุ่มอายุ 5-6 ปีมีโรคฟันผุในฟันน้ำนมสูงสุดเมื่อเทียบกับเด็กกลุ่มอายุอื่น คือมีฟันน้ำนมผุคิดเป็นร้อยละ 87.4 ของเด็กทั้งหมด และมีค่าเฉลี่ยฟันน้ำนมผุถอนอุดเท่ากับ 5.97 ซี่ต่อคน ลักษณะการผุในวัยนี้จะมีการผุที่รุนแรงขึ้นเมื่อเทียบกับการผุของฟันน้ำนมที่ได้จากการสำรวจในเด็กช่วงอายุ 3 ปี ฟันที่พบผุมากคือฟันกรามน้ำนมบนและล่าง ซึ่งความต้องการในการบูรณะเพื่อเก็บรักษาฟันไว้ส่วนใหญ่จะเป็นการอุดฟันสองด้าน

แม้ผลจากการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2538 จะพบว่าโรคฟันผุส่วนมากเป็นการผุที่ด้านบดเคี้ยว (กระทรวงสาธารณสุข กองทันตสาธารณสุข, 2538) แต่ในระยะเวลากว่าสองทศวรรษที่ผ่านมา วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการลดอัตราการเกิดโรคฟันผุทางด้านบดเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ American Dental Association [ADA] (1983) ได้ให้การยอมรับว่าการใช้วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันฟันผุบริเวณหลุมและร่องฟันด้านบดเคี้ยว (Council on Dental Health and Health Planning, and Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment, 1987) ตลอดจน National Institutes of Health (1984) ได้สรุปว่า トラบาโดที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยังคงยึดติดอยู่บนผิวเคลือบฟัน ก็จะสามารถป้องกันการเกิดฟันผุทางด้านบดเคี้ยวได้อย่างสมบูรณ์

ในขณะที่การเกิดฟันผุทางด้านบดเคี้ยวมีวิธีป้องกันที่มีประสิทธิภาพ แต่การเกิดฟันผุทางด้านผิวเรียบโดยเฉพาะด้านประชิดยังไม่มียุทธวิธีใดที่สามารถป้องกันฟันผุในบริเวณนี้ได้ อย่างสมบูรณ์ ผิวฟันด้านประชิดเป็นบริเวณที่ยากแก่การทำทำความสะอาด มีการไหลเวียนของน้ำลายน้อยกว่าผิวฟันด้านอื่นๆ ลักษณะตำแหน่งจุดสัมผัสของฟันเอื้ออำนวยต่อการสะสมของคราบจุลินทรีย์ การป้องกันการผุบริเวณด้านประชิดต้องอาศัยวิธีการหลายวิธีร่วมกันเพื่อยับยั้ง

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคฟันผุและเสริมสร้างความสามารถในการต่อต้านการเกิดฟันผุ อันได้แก่ การแปรงฟันและใช้ไหมขัดฟันทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบจุลินทรีย์ การใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ต่างๆ เช่น ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ และฟลูออไรด์เจล เป็นต้น

จากการศึกษาของ Holt (1995) พบว่าอัตราการเกิดฟันผุ (Caries rate) ที่สูงขึ้นในช่วงอายุ 5-9 ปี เกิดจากรอยผุที่ด้านประชิดของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นช่วงอายุเดียวกันกับการขึ้นของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่ง ดังนั้นอัตราการผุที่เพิ่มขึ้นบริเวณด้านประชิดของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองจึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดฟันผุที่ด้านประชิดของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งที่อยู่ติดกันด้วย

จากการศึกษาของ Mejare และคณะ (2001) เกี่ยวกับฟันผุบริเวณด้านประชิด พบว่าในช่วงการขึ้นของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่ง หากมีรอยผุด้านไกลกลาง (Distal) ของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองในชั้นเคลือบฟันหรือลึกถึงระดับรอยต่อของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน (Enamel-dentinal junction) จะทำให้อัตราการเกิดฟันผุด้านใกล้กลาง (Mesial) ของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งสูงขึ้นถึง 15 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่มีฟันผุทางด้านไกลกลางของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สอง

รอยผุบริเวณด้านประชิดในระยะเริ่มแรกจะปรากฏเป็นลักษณะของรอยโรคจุดขาว (White spot lesion) (Arends และ Christoffersen, 1986) ที่สามารถสังเกตเห็นได้ในทางคลินิกเมื่อรอยโรคมีความลึกประมาณ 300-500 ไมโครเมตร รอยโรคจุดขาวเกิดจากการสูญเสียแร่ธาตุของชั้นเคลือบฟันข้างใต้ (Subsurface demineralization) โดยที่ผิวบนสุดเป็นบริเวณที่มีการฟื้นกลับแร่ธาตุ (Remineralization) (Applebaum, 1940; Zero, 1999) ลักษณะของรอยโรคจุดขาวจะมีสีขาวขุ่น และยังไม่ปรากฏเป็นลักษณะของโพรงรอยผุ (Cavitation) หากต่อมารอยโรคจุดขาวนี้อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าการฟื้นกลับแร่ธาตุไปช่วงเวลาหนึ่ง โครงสร้างของผิวเคลือบฟันจะถูกทำลายเกิดเป็นโพรงรอยผุที่เห็นได้ในทางคลินิก ซึ่งต้องทำการรักษาโดยการบูรณะฟัน (Holmen และคณะ 1985; Thylstrup และ Fejerskov, 1994a; Fejerskov และ Clarkson, 1996; Featherstone, 1999; Zero, 1999) ในทางกลับกันหากรอยโรคจุดขาวอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดการฟื้นกลับแร่ธาตุมากกว่าการสูญเสียแร่ธาตุจะทำให้โครงสร้างฟันยังคงอยู่ได้โดยไม่เกิดเป็นโพรงรอยผุ จึงไม่จำเป็นต้องทำการบูรณะ (Dirks, 1966; Miller, 1991; Thylstrup, Bruun และ Holmen, 1994)

ฟลูออไรด์เป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุและการฟื้นกลับแร่ธาตุของเคลือบฟัน การรักษาให้มีฟลูออไรด์ในความเข้มข้นต่ำคงอยู่

อย่างสม่ำเสมอในช่องปากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุ (Margolis, Moreno และ Murphy, 1986) ในทางคลินิก ฟลูออไรด์ในยาสีฟันหรือน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์สามารถช่วยเพิ่มความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำลาย ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวอันนำไปสู่การเกิดโพรงรอยผุได้ แต่การได้รับประโยชน์จากการใช้ยาสีฟันหรือน้ำยาบ้วนปากต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยและ/หรือผู้ปกครอง ซึ่งได้ผลแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ในเด็กที่ไม่ได้รับการดูแลสุขภาพช่องปากจากผู้ปกครอง มีอนามัยช่องปากไม่ดีขาดการกระตุ้นการดูแลสุขภาพช่องปากอย่างต่อเนื่อง ไม่ได้ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ หรือมีปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ย่อมไม่ได้รับประโยชน์จากฟลูออไรด์เฉพาะที่เหล่านี้ การบูรณะฟันด้านที่ผุและสัมผัสกับรอยโรคจุดขาวด้วยวัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ จึงน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำอยู่ภายในช่องปากตลอดเวลา ช่วยชะลอหรือป้องกันการลุกลามของรอยโรคจุดขาวซึ่งนำไปสู่การสูญเสียโครงสร้างฟันได้โดยไม่ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยและ/หรือผู้ปกครอง

ในปัจจุบันวัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ได้รับการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติพื้นฐานด้านความแข็งแรง ความต้านทานต่อการสึก ความแนบสนิท การนำไปใช้และความสวยงามที่ดีขึ้น จนสามารถใช้ทดแทนวัสดุบูรณะอมัลกัมในการบูรณะโพรงรอยผุบริเวณด้านประชิดของฟันกรามน้ำนมได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำได้เป็นเวลานานอีกด้วย (Berg, 1998; Hse, Leung และ Wei, 1999; Hickel และ Folwaczny, 2001)

ผลการศึกษาทั้งจากห้องปฏิบัติการและทางคลินิก แสดงให้เห็นว่าฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะในตระกูลกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer cement) กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass ionomer) เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด (Polyacid-modified resin composite) และเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ (Fluoride containing resin composite) สามารถต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุหรือการเกิดฟันผุซ้ำ (Secondary caries) ในชั้นเคลือบฟันและ/หรือเนื้อฟันของฟันถาวรบริเวณรอบๆ หรือขอบของวัสดุบูรณะได้ (Dijkman และ Arends, 1992; Tam, Chan และ Yim, 1997; Dionysopoulos และคณะ, 1998; Wandera, 1998; Donly และคณะ, 1999) ในขณะที่ Mejare และคณะ (2001) พบว่าการบูรณะโพรงรอยผุบริเวณด้านไกลกลางของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองด้วยวัสดุบูรณะอมัลกัม ไม่ช่วยป้องกันการเกิดรอยผุด้านไกลกลางของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่ง จากข้อมูลเหล่านี้ ในกรณีที่ต้องบูรณะฟันซี่ด้านประชิดของการบูรณะต้องสัมผัสกับรอยโรคจุดขาว เช่น การบูรณะโพรงรอยผุบนด้านไกลกลางในฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองที่ประชิดกับรอยโรค



จุดขาวบนด้านใกล้กลางของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่ง การใช้วัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้น่าจะมีผลต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวนั้น

มีการศึกษาเกี่ยวกับการผันกลับแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ และ/หรือน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ และ/หรือยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ หลายการศึกษา (ตารางที่ 1) เช่น การศึกษาของ Marinelli และคณะ (1997) Segura, Donly และ Stratmann (1997) และ Jang และคณะ (2001) ซึ่งทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยวัดขนาดของรอยโรคที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ไม่มีการจำลองสถานการณ์เปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมือนกับสภาวะจริงภายในช่องปาก ซึ่งรอยฟันที่สร้างขึ้นจะถูกแช่อยู่ในน้ำลายเทียมหรือสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับของแร่ธาตุ (Remineralizing solution) เพียงอย่างเดียวตลอดเวลา ในขณะที่การศึกษาของ Kotsanos และคณะ (2001) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการร่วมกับในทางคลินิก แต่ทำการศึกษาในฟันวีวโดยนำขึ้นฟันวีวและขึ้นวัสดุที่สัมผัสกันไปติดกับฟันปลอมของผู้ป่วย และให้ผู้ป่วยใส่ไว้ในช่องปาก มีเพียงการศึกษาของ Bynum และ Donly (1999) และ Donly และคณะ (1999) ที่ทำการศึกษาโดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นฟันกรามถาวรของมนุษย์ โดย Donly และคณะ (1999) ทำการศึกษาในทางคลินิกร่วมกับในห้องปฏิบัติการ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้มีการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ร่วมด้วย ทำให้ไม่ทราบผลที่เกิดจากวัสดุบูรณะเพียงอย่างเดียวในบางกลุ่มทดลอง ส่วน Bynum และ Donly (1999) ยังไม่ได้นำวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดมาใช้ในการทดลอง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานทันตกรรมสำหรับเด็กในปัจจุบัน อันได้แก่ วัสดุกุลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ ที่มีต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันทางด้านประชิดของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันที่มีบทบาทสำคัญในการบดเคี้ยว ได้แก่ ฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งที่ด้านใกล้กลางมีรอยโรคจุดขาวและอยู่ประชิดกับรอยผุบริเวณด้านใกล้กลางของ ฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองที่ต้องทำการบูรณะ เป็นการลดความเสี่ยงในการสูญเสียโครงสร้างฟันจากการบูรณะสามารถเก็บรักษาโครงสร้างฟันไว้ได้ตามธรรมชาติ นำไปสู่อายุการใช้งานที่ยาวนาน มีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายต่อไป

ตารางที่ 1 สรุปการศึกษาเกี่ยวกับผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่อ  
การผันกลับแร่ธาตุหรือการต้านทานการเกิดฟันผุของรอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุ

Authors	Year	Teeth	Sample size (per group)	Materials	pH cycle	Duration (days)	Study design	
Marinelli, and et al.	1997	Human permanent molars	10	RMGI F <sup>-</sup> Dentifrice F <sup>-</sup> Mouthrinse	Vitremer <sup>®</sup> Crest <sup>®</sup> Fluorigard <sup>®</sup>	No	30	In vitro
Segura, Donly, and Stratmann	1997	Human permanent molars	10	GI GI silver cermet Non-F <sup>-</sup> Comp Amalgam	Ketac-fil <sup>®</sup> Ketac-Silver <sup>®</sup> Visio-Molar <sup>®</sup> Tytin <sup>®</sup>	No	14	In vitro
Jang, and et al.	2001	Human permanent molars	16	GI RMGI Non-F <sup>-</sup> Comp	Fuji IX GP <sup>®</sup> , Ketac-molar <sup>®</sup> Vitremer <sup>®</sup> Z 250 <sup>®</sup>	No	30	In vitro
Kotsanos	2001	Bovine molars	4	GI RMGI PMC Non-F <sup>-</sup> Comp	Ketac-molar <sup>®</sup> Vitremer <sup>®</sup> F-2000 <sup>®</sup> Pertac II <sup>®</sup>	Yes	70	In vitro + Intraoral
Donly, and et al.	1999	Human permanent molars	21	RMGI F <sup>-</sup> Comp Non-F <sup>-</sup> Comp ± F <sup>-</sup> Dentifrice	Vitremer <sup>®</sup> Heliomolar <sup>®</sup> P-50 <sup>®</sup> ± Crest <sup>®</sup>	Yes	30	Intraoral
Bynum, and Donly	1999	Human permanent molars	10	GI F <sup>-</sup> Comp Amalgam ± F <sup>-</sup> Dentifrice	Ketac molar <sup>®</sup> Heliomolar <sup>®</sup> Tytin <sup>®</sup> ± Crest <sup>®</sup>	Yes	14	In vitro

หมายเหตุ : GI = Glass ionomer, RMGI = Resin-modified glass inomer, PMC = Polyacid-modified resin composite, F<sup>-</sup> Comp = Fluoride containing resin composite, Non-F<sup>-</sup> Comp = Non-fluoride



containing resin composite, F<sup>-</sup> dentifrice = Fluoride containing dentifrice, F<sup>-</sup> mouthrinse = Fluoride mouthrinse

### คำถามการวิจัย

1. วัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ จะมีผลต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุในห้องปฏิบัติการ แตกต่างจากวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ซึ่งได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์หรือไม่
2. ผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันหรือไม่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ กับวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะเหล่านี้ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะในห้องปฏิบัติการ

### สมมุติฐานของการวิจัย

1. ผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ 3 ชนิด ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดผสม

ฟลูออไรด์ ต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างจากผลของวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ซึ่งได้แก่ เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์

2. ผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุในห้องปฏิบัติการไม่แตกต่างกัน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หากผลการศึกษาพบว่าวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ชนิดใดที่สัมผัสกับรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวร ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่น้อยกว่ารอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ และวัสดุชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ชนิดใดที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุน้อยที่สุด ผลการศึกษาเหล่านี้จะเป็นแนวทางการศึกษาต่อในทางคลินิก เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุบูรณะสำหรับการบูรณะรอยผุด้านใกล้กลางของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สอง เพื่อช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวบริเวณด้านใกล้กลางของฟันกรามถาวร ซี่ที่หนึ่ง หรือชะลอการดำเนินโรคของรอยโรคจุดขาวได้

### ประชากรเป้าหมาย

รอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันด้านใกล้กลางของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งในเด็ก ที่ด้านใกล้กลางของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองมีการผุและต้องทำการบูรณะเป็นแบบที่ที่สอง (Class II)

### ข้อตกลงเบื้องต้น

องค์ประกอบหลักของแร่ธาตุในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรคือ แคลเซียม และใช้เป็นตัวแทนของแร่ธาตุในการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของชั้นเคลือบฟัน

### ข้อจำกัดของการวิจัย

1. เครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) ที่ใช้ในการวัดปริมาณแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟัน จะอ่านค่าปริมาณแร่ธาตุและการดูดกลืนแสงได้ที่ความละเอียดระดับ 0.001 ส่วนในล้านส่วน (ทศนิยมตำแหน่งที่ 3)
2. น้ำลายที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำลายเทียมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากต้องใช้ปริมาณมากต่อวัน (510 มิลลิลิตรต่อวัน)

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. การสร้างรอยฟันผุจำลอง (Artificial carious lesion formation)

หมายความว่า การสร้างรอยฟันผุจำลองเลียนแบบรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟัน เป็นการทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุใต้ผิวเคลือบฟันชั้นนอกสุด (Subsurface lesion) โดยการแช่ชั้นฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralizing solution) ซึ่งเตรียมโดยส่วนผสมของกรดแลกติก 0.1 โมลาร์ กรดฟอสฟอริก 0.1 โมลาร์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ไฮดรอกซีอะซิติก 0.1 โมลาร์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 และโซเดียมเอไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ซึ่งมีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 (pH = 5.0) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

2. ปริมาณแร่ธาตุในชั้นเคลือบฟัน

หมายความว่า ปริมาณแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบหลักของชั้นเคลือบฟัน

### ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้ยังไม่สามารถสรุปถึงผลของวัสดุบูรณะฟันชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่สัมผัสกับรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรในทางคลินิกได้
2. การวัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ แสดงถึงปริมาณแคลเซียมที่สูญเสียออกจากรอยโรคซึ่งอยู่ในชั้นเคลือบฟัน โดยเป็นการบ่งบอกทางอ้อม

ถึงปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ในรอยโรค โดยไม่ได้ทำการวัดปริมาณแคลเซียมที่เป็นส่วนประกอบของชั้นเคลือบฟันบริเวณรอยโรคโดยตรง

3. รูปแบบการทดลองในการวิจัยนี้ เป็นการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ต่างภายในช่องปาก โดยการแช่ฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 5.0 เป็นเวลาประมาณ 2.5 ชั่วโมงต่อวัน และแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุเป็นเวลาประมาณ 21.5 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งไม่ครอบคลุมถึงสภาพความเป็นจริงในชีวิตประจำวันของประชากรทั้งหมด

### รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในห้องทดลอง



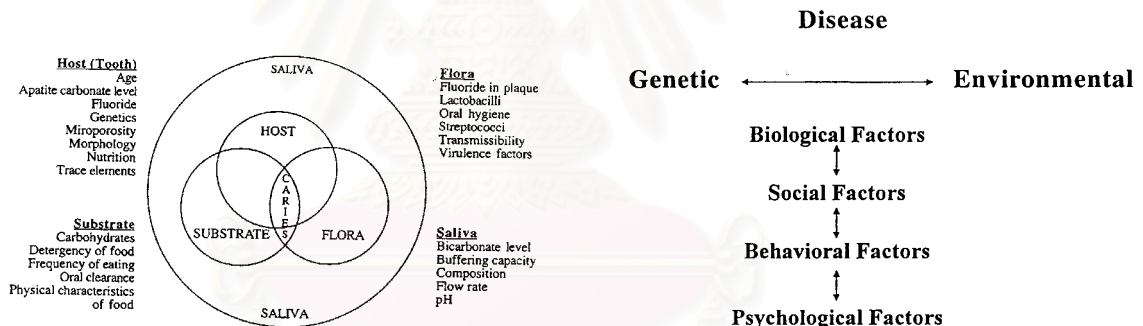
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคฟันผุ

โรคฟันผุเป็นโรคที่มีสาเหตุมาจากปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ ฟัน เนื้อ และอาหาร ประเภทคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักเป็นหลัก (ภาพที่ 1) ร่วมกับปัจจัยเสริมอื่นๆ ที่มีบทบาทในกระบวนการเกิดโรคฟันผุ เช่น ปัจจัยทางด้านสังคม พฤติกรรม และจิตใจ (ภาพที่ 2) ดังนั้นในปัจจุบันการป้องกันและรักษาโรคฟันผุจึงควรประกอบด้วยการจัดการปัจจัยทางด้านสังคม พฤติกรรม และจิตวิทยาควบคู่ไปกับปัจจัยทางชีวภาพ แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยทางด้านชีวภาพอันได้แก่



ภาพที่ 1

วงแหวนรายละเอียดและความสัมพันธ์  
ของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคฟันผุ  
(Clarkson, 1999)

ภาพที่ 2

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางพันธุกรรม  
และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง  
กับการเกิดโรคฟันผุ (Zero, 1999)

#### 1. ฟัน

ส่วนประกอบของฟันที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดโรคฟันผุ ได้แก่ ตำแหน่งรูปร่าง ส่วนประกอบ โครงสร้าง และอายุของฟันหลังจากขึ้นสู่ช่องปาก (Post-eruptive age) เป็นต้น เคลือบฟันมีส่วนประกอบแร่ธาตุส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Hydroxyapatite) ร่วมกับสารอินทรีย์และสารอินทรีย์อื่นๆ (ตารางที่ 2) ตามทฤษฎีแล้วเมื่อ

เคลือบฟันสัมผัสกับกรดที่สร้างจากแบคทีเรีย เคลือบฟันจะเกิดการละลายและสูญเสียแร่ธาตุออกมา ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของกระบวนการเกิดฟันผุ ดังนั้นถ้าสามารถลดการละลายของเคลือบฟันเมื่อสัมผัสกรดที่สร้างจากเชื้อแบคทีเรียได้ ก็สามารถลดโอกาสที่จะเกิดฟันผุได้

ตารางที่ 2 ปริมาณขององค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆในชั้นเคลือบฟันของฟันถาวร (Zero, 1999)

Component	Percent by weight
Hydroxyapatite $Ca_{10}(PO_4)(OH)_2$	92-94
Water $H_2O$	~ 2-3
Carbonate $CO_3^{2-}$	~ 2-5
Trace elements <i>Na, Mg, K, Cl, Zn</i>	~ 1
Fluoride $F^-$	0.01-0.05
Organic <i>Protein and lipids</i>	<1

ปัจจัยของตัวฟันที่มีผลต่อการละลายโดยกรดในกระบวนการเกิดโรคฟันผุ ได้แก่ องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ (Inorganic composition) ขนาดของผลึก (Crystal size) และรูปร่างของผลึกอะพาไทท์ (Crystal apatite)

### 1.1 ปัจจัยของสารอนินทรีย์

ส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ในเคลือบฟันมีผลต่อความคงตัวของผลึก (Stability) หากผลึกมีความคงตัวสูงก็จะละลายได้ยากเมื่อสัมผัสกรด ในภาวะที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบของผลึก เช่น ฟลูออราอะพาไทท์ (Fluorapatite) ฟลูออริเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Fluoridated hydroxyapatite) จะได้ผลึกที่มีความคงตัวสูงมากกว่าไฮดรอกซีอะพาไทท์ ในขณะที่ถ้ามีคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่นผลึกคาร์บอเนตอะพาไทท์ (Carbonate apatite) จะได้ผลึกที่มีความคงตัวต่ำ ซึ่งทำให้เคลือบฟันมีโอกาสเกิดการละลายได้สูงเมื่อสัมผัสกับสารละลาย

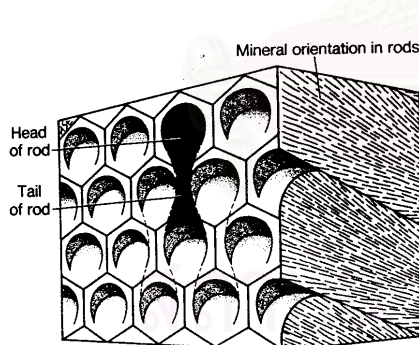


ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (LeGeroz และ Tung, 1983) นอกจากฟลูออไรด์และคาร์บอนेटแล้ว ยังมีแร่ธาตุอีกกว่า 40 ชนิดที่สามารถตรวจพบได้ในเคลือบฟัน (Zero, 1999)

## 1.2 ขนาดของผลึก และรูปร่างของผลึกอะพาไทต์

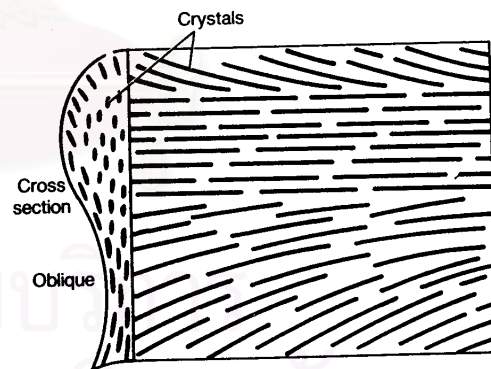
เคลือบฟันประกอบขึ้นจากผลึกรูปทรงพอมยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 นาโนเมตร ซึ่งรวมกลุ่มกันประกอบขึ้นเป็นท่อ (Enamel rods) หรือปริซึม (Prisms) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 ไมโครเมตร (ภาพที่ 3-4) เรียงตัวพุ่งจากชั้นเนื้อฟันสู่เคลือบฟันชั้นนอก (Orams และคณะ, 1976) ส่วนของสารอินทรีย์ (Organic matrix) รอบๆปริซึมจะประกอบขึ้นเป็นเปลือกหุ้ม (Prism sheath) ถ้าผลึกมีรูปร่างที่ดีจะทำให้ผลึกมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสต่อกรดลดลง

นอกจากนี้เคลือบฟันยังมีโครงสร้างที่เป็นรูเล็กๆ (Microporous) อยู่ระหว่างผลึก น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างผลึกเป็นช่องทางที่กรดจะซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างเกิดการทำอันตรายต่อผลึกได้ (Moreno และ Zahradnik, 1973; Patel, Fox และ Higuchi, 1987) ถ้าผลึกมีการเรียงตัวที่ชิดอัดกันแน่นจะทำให้มีช่องว่างที่เป็นที่อยู่ของน้ำน้อยลง ทางซึมผ่านของกรดเข้าสู่ผลึกน้อยลง จะทำให้เคลือบฟันมีการละลายน้อยลงด้วย



ภาพที่ 3

รูปร่างท่อในชั้นเคลือบฟันและการจัดเรียงตัวของแร่ธาตุในท่อชั้นเคลือบฟัน (Simmelink, 1994)



ภาพที่ 4

การจัดเรียงตัวของผลึกแร่ธาตุในท่อชั้นเคลือบฟัน (Simmelink, 1994)



## 2. อาหาร

ความถี่ของการทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต มีความสำคัญอย่างมากในการเกิดฟันผุและเป็นปัจจัยหลักที่ผลักดันให้เกิดกระบวนการนี้ นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ เช่น การตกค้างของอาหาร ส่วนประกอบในอาหารที่ช่วยป้องกันฟันผุ (Protective factors) เช่น แคลเซียม ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ และประเภทของคาร์โบไฮเดรต ก็ยังมีผลต่อกระบวนการเกิดฟันผุอีกด้วย

คาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างซับซ้อนเช่น แป้ง จะทำให้เกิดฟันผุได้น้อยกว่าน้ำตาลที่มีโครงสร้างธรรมดา เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส โดยซูโครสเป็นน้ำตาลที่ทำให้เกิดฟันผุได้สูงที่สุด เนื่องจากแบคทีเรียสามารถใช้ซูโครสเป็นสารตั้งต้นในการสร้างกลูแคน (Glucan) ทำให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะกับผิวเคลือบฟันและยึดเกาะระหว่างแบคทีเรียด้วยกันได้ดียิ่งขึ้น

## 3. เชื้อในคราบจุลินทรีย์

เชื้อภายในช่องปากที่พบในคราบจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟันผุ คือกลุ่มของมิวแทนส์สเตรปโตคอกไค (*Mutans streptococci*) ได้แก่ สเตรปโตคอกคัสมิวแทนส์ (*S. mutans*) สเตรปโตคอกคัสโซโบรินัส (*S. sobrinus*) กลุ่มของแลคโตแบซิลลัส (*Lactobacillus species*) กลุ่มของแอกติโนมัยซิส (*Actinomyces species*) กลุ่มของสเตรปโตคอกไคอื่นๆ (*nonmutans streptococci*) และยีสต์ (Yeast)

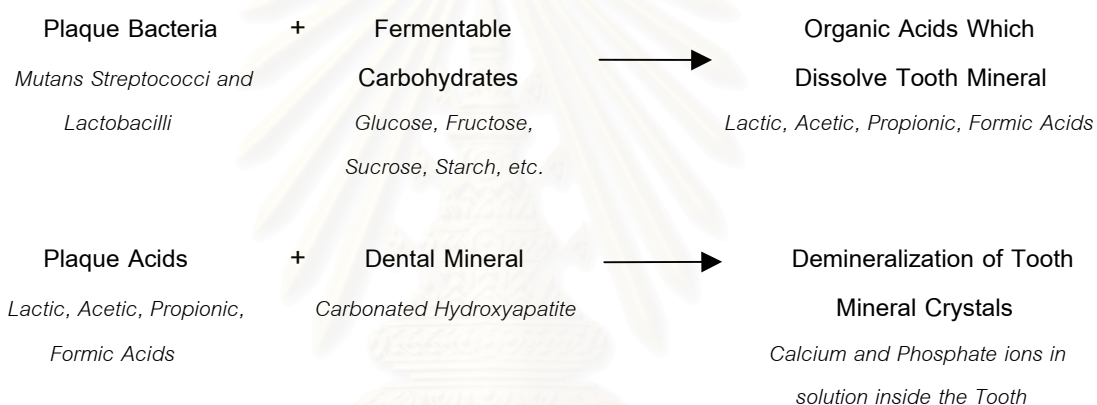
## 4. น้ำลาย

อัตราการไหลของน้ำลายและส่วนประกอบในน้ำลายมีความสำคัญในการปรับเปลี่ยนกระบวนการเกิดโรคฟันผุ การป้องกันผิวฟันโดยน้ำลายนั้นประกอบด้วยคุณสมบัติในการชะล้าง (Mechanical cleansing action) การเจือจาง (Dilution) การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (Buffering) ของกรดจากคราบจุลินทรีย์ คุณสมบัติในการต้านทานเชื้อ (Antimicrobial properties) และองค์ประกอบของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แร่ธาตุต่างๆในน้ำลาย ซึ่งจะสามารถช่วยต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุ และสนับสนุนกระบวนการผันกลับแร่ธาตุของผิวฟันได้ (Mandel, 1987)

## กระบวนการเกิดโรคฟันผุในชั้นเคลือบฟัน

ฟันผุบริเวณตัวฟันในฟันถาวรเริ่มต้นที่ชั้นเคลือบฟัน โดยเป็นผลจากความไม่สมดุลกันของกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุที่มากกว่าการผันกลับแร่ธาตุของเคลือบฟัน โดยเคลือบฟันจะเกิดสูญเสียแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเคลือบฟัน ได้แก่ แคลเซียม และฟอสเฟต ไปจากการสัมผัสกับกรดอินทรีย์ ซึ่งแบคทีเรียในไบโอฟิล์ม (Biofilm) หรือคราบจุลินทรีย์ที่เคลือบอยู่บนผิวเคลือบฟันผลิตขึ้น

### 1. การสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralization)



#### ภาพที่ 5

การสร้างกรดจากแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์และการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน (Featherstone, 1999)

กระบวนการสูญเสียแร่ธาตุเป็นผลมาจากการซึมผ่านของกรดที่สร้างโดยแบคทีเรียเข้าสู่เคลือบฟัน ไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) จากกรดจะผ่านเข้าไปในรูพรุน ทำอันตรายโดยตรงสร้างของผลึกอะพาไทต์ ทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตถูกละลายออกมาจากเคลือบฟัน (ภาพที่ 5) (Featherstone และ Rodgers, 1981)

กระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

## 1.1 การสร้างกรดอินทรีย์โดยเชื้อในคราบจุลินทรีย์

กระบวนการสูญเสียแร่ธาตุเริ่มจาก เมื่อมีการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่ช่องปาก แบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์จะสร้างกรดอินทรีย์ขึ้นมากมายหลายชนิด เช่น สเตอรปโตคอกโคและแลคโตแบซิลไลจะสร้างกรดแลคติก (Lactic acid) เป็นส่วนใหญ่ แบคทีเรียชนิดอื่นๆสร้างกรดที่มีส่วนผสมของกรดอินทรีย์หลายชนิดร่วมกัน เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวไทริก (Butyric acid) กรดฟอร์มิก (Formic acid) และกรดซัคซินิก (Succinic acid) เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่ากรดแลคติกเป็นกรดที่มีบทบาทหลักในกระบวนการเกิดโรคฟันผุ (Englander, Carter และ Fosdick, 1956; Moore และคณะ, 1956; Geddes, 1975) ต่อมากรดที่สร้างจากแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์จะซึมผ่านจากเซลล์ของเชื้อเข้าสู่คราบจุลินทรีย์ ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในของเหลวในคราบจุลินทรีย์ (Plaque fluid) เพิ่มสูงขึ้น และของเหลวจากคราบจุลินทรีย์ที่อยู่รอบๆแบคทีเรียนี้จะทำการขนถ่ายกรดซึ่งเป็นผลผลิตจากแบคทีเรียเข้าสู่เคลือบฟันต่อไป

จากการศึกษาโดย Stephan (1940) ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของคราบจุลินทรีย์หลังจากการบ้วนปากด้วยกลูโคสพบว่า ในช่วงเริ่มต้นค่าความเป็นกรด-ด่างของคราบจุลินทรีย์ค่อนข้างเป็นกลางคือมีค่าประมาณ 7 หลังจากภาวะอดอาหารนานกว่า 8 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้นเล็กน้อย ( $\text{pH} = 7.8$ ) หลังจากการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงอย่างรวดเร็วแล้วค่อยๆเพิ่มทีละน้อยจนกลับสู่ค่าเริ่มต้นในเวลา 30-60 นาที ในสภาวะที่มีการดำเนินของโรคฟันผุอยู่ในช่องปาก (Caries-active) ค่าความเป็นกรด-ด่างสามารถลดต่ำลงถึง 4 (Stephan, 1944) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงจาก 7 ไปสู่ 4 จะทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นถึง 1000 เท่า และเกิดแรงผลักดันอย่างมากที่ทำให้เชื้อแบคทีเรียสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่ฟันได้

## 1.2 การซึมผ่านของกรดเข้าสู่ตัวฟัน

เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของคราบจุลินทรีย์ลดต่ำลงถึงจุดวิกฤติ (Critical  $\text{pH} \sim 5.5$ ) จะเกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในคราบจุลินทรีย์และในเคลือบฟัน (Gray, 1962) ทำให้เกิดการซึมผ่านของกรดหรือไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่เคลือบฟันซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างผลึก (Intercrystalline spaces) ของเคลือบฟันจะเป็นทางให้กรดซึมผ่านเข้าไป ร่วมกับการที่ของเหลวในคราบจุลินทรีย์มีสภาวะไม่อิ่มตัวของแร่ธาตุอันเป็น

องค์ประกอบของอะปาทไทท์ ในขณะที่ของเหลวภายในรูพรุนของเคลือบฟันจะมีความอิ่มตัวของแร่ธาตุมากกว่า ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณแร่ธาตุเกิดการซึมผ่านของแร่ธาตุจากเคลือบฟันออกสู่ภายนอก (Gray, 1962; Chow และ Vogel, 2001)

## 2. การผันกลับแร่ธาตุ (Remineralization)

ในกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของผลึกในชั้นเคลือบฟันจะถูกละลายออกมาอยู่ในช่องว่างระหว่างผลึก ทำให้ระดับความอิ่มตัวของแร่ธาตุในสารละลายทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถึงระดับอิ่มตัวกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุจะหยุดลง และเป็นการเริ่มต้นของการกลับมาตกตะกอนของแร่ธาตุ (Reprecipitation) จากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้น (Concentration gradient) ของแร่ธาตุในสารละลายรอบๆเคลือบฟันที่อิ่มตัวยังยวดกับความเข้มข้นที่น้อยกว่าของแร่ธาตุในสารละลายในช่องว่างระหว่างผลึก โดยอัตราการผันกลับแร่ธาตุของเคลือบฟันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดขององค์ประกอบปริมาณ และความสามารถในการซึมผ่านของแร่ธาตุในสารละลาย ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย โครงสร้างของเคลือบฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุไป เป็นต้น

## รอยโรคจุดขาว (White spot lesion)

โรคฟันผุเกิดจากความไม่สมดุลกันระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุ (Mineral loss) กับการผันกลับของแร่ธาตุ (Mineral gain) ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยผลลัพธ์เกิดการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าจึงนำไปสู่การสูญเสียโครงสร้างฟันเกิดเป็นโพรงรอยผุ

รอยโรคจุดขาว เป็นลักษณะปรากฏของรอยผุเริ่มแรกที่สามารถเห็นได้ในทางคลินิก รอยโรคจะมีทั้งบริเวณที่เป็นผลจากการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุ โดยในชั้นผิวนอก (Surface layer) เป็นชั้นที่มีส่วนประกอบของแร่ธาตุสูงเป็นผลจากการผันกลับแร่ธาตุ ในขณะที่ชั้นข้างใต้ (Subsurface layer) เป็นผลจากการสูญเสียแร่ธาตุ

การดำเนินโรคของรอยโรคจุดขาวอาจเป็นการสูญเสียแร่ธาตุต่อไปหากอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างวิกฤติ หรืออาจเกิดการผันกลับแร่ธาตุหารอยโรคอยู่ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น

## 1. กระบวนการเกิดรอยโรคจุดขาว

ในช่วงเริ่มต้นของการเกิดฟันผุในชั้นเคลือบฟัน มีการซึมผ่านของกรดเข้าสู่เคลือบฟันโดยตรง ทำลายเคลือบฟันให้อ่อนนิ่มลง เปิดทางซึมผ่านของกรดเข้าสู่ชั้นข้างใต้ มีหลายการศึกษาพบว่า อัตราการสูญเสียแร่ธาตุจะมีผลต่อส่วนของเคลือบฟันที่อยู่ข้างใต้มากกว่าชั้นผิวนอกสุด (Moreno และ Zahradnik, 1974; Arend และ Christoffersen, 1986) โดยแคลเซียมและฟอสเฟตที่ถูกละลายออกมาจากชั้นใต้ผิวจากกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุในช่วงแรก และกลับมาตกตะกอนที่ผิวชั้นนอกสุดร่วมกับแร่ธาตุจากแหล่งอื่นๆภายในช่องปาก เช่น น้ำลาย อาหาร ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปากต่างๆ เป็นต้น จะมีความคงตัวสูง สามารถป้องกันโครงสร้างผิวเคลือบฟันชั้นนอกได้ดีขึ้น ต่อมาเมื่อสภาวะแวดล้อมของสารละลายรอบผิวเคลือบฟันเปลี่ยนจากสภาวะไม่อิ่มตัวไปสู่สภาวะอิ่มตัวแล้ว แม้บริเวณผิวเคลือบฟันนอกสุดไม่เกิดการซึมผ่านของกรดเข้าทำอันตราย แต่ผลึกในชั้นข้างใต้ยังคงมีสภาวะไม่อิ่มตัวอยู่ต่อไปอีกระยะหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาหนึ่งในรอยโรคเดียวกัน จะสามารถพบได้ทั้งกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุ

## 2. ลักษณะทางคลินิก

รอยโรคจุดขาวเป็นลักษณะปรากฏอย่างแรกของฟันผุที่พบได้ทางคลินิก ซึ่งแม้ในทางคลินิกจะถือว่าเป็นรอยผุเริ่มแรก แต่ในความเป็นจริงรอยโรคจุดขาวเป็นการดำเนินโรคฟันผุที่ถูกถามามากพอสมควรแล้ว เนื่องจากรอยโรคต้องมีความลึกประมาณ 300-500 ไมโครเมตร จึงเป็นระดับที่สามารถตรวจเห็นได้



ภาพที่ 6

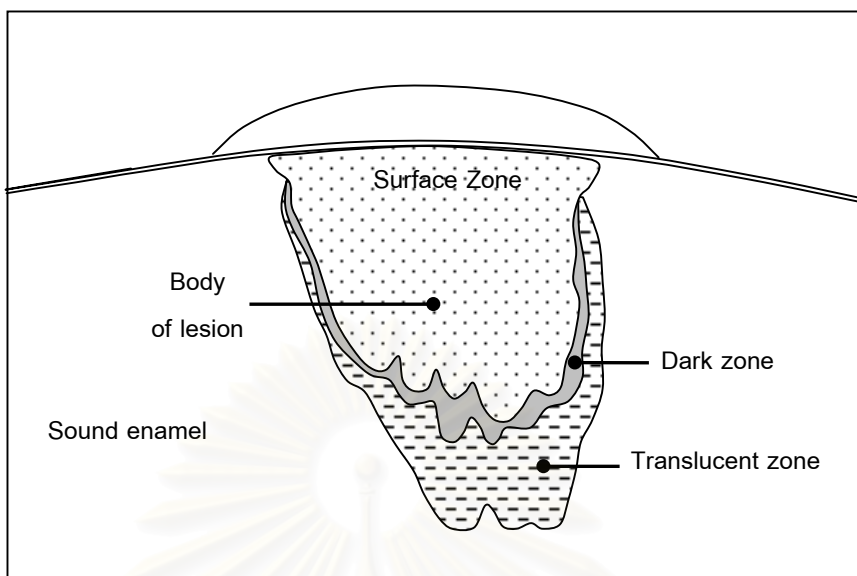
ลักษณะทางคลินิกของรอยโรคจุดขาว

ลักษณะทางคลินิกของรอยโรคจุดขาวบริเวณด้านประชิดจะพบเห็นเป็นแถบสีขาว (ภาพที่ 6) เนื่องจากมีการสูญเสียโครงสร้างและแร่ธาตุในชั้นใต้ผิวเคลือบฟัน นำไปสู่การสูญเสียความโปร่งแสง ผิวนอกของรอยโรคจุดขาวถ้ามีลักษณะเรียบมันและต่อเนื่องดี แสดงว่ารอยผุนั้นไม่ได้กำลังมีการดำเนินโรคอยู่ (Inactive) แต่หากรอยโรคจุดขาวมีผิวขรุขระไม่เรียบมันจะเป็นลักษณะที่กำลังมีการดำเนินโรคอยู่ (Active) และอาจลุกลามต่อไปได้

### 3. ลักษณะทางจุลกายวิภาค (Microscopic structure) (Thylstrup และ Fejerskov, 1994a)

เมื่อตัดชิ้นเคลือบฟันที่มีรอยโรคจุดขาวให้มีความหนาประมาณ 80–100 ไมโครเมตร แล้วนำมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์ (Polarized light microscope) จะพบว่ารอยโรคจุดขาวมีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม (Wedge shape) โดยฐานสามเหลี่ยมอยู่ที่บริเวณผิวเคลือบฟัน ยอดสามเหลี่ยมชี้ไปทางด้านเนื้อฟัน แต่ละบริเวณของรอยโรคมีลักษณะต่างๆกันแบ่งได้เป็น 4 ส่วน โดยส่วนที่ 1, 2 จะเห็นได้เมื่อดูชิ้นเคลือบฟันโดยใช้น้ำ และส่วนที่ 3, 4 จะเห็นได้เมื่อดูชิ้นเคลือบฟันโดยใช้ควิโนลีน (Quinoline) หรือแคนาดาบัลซัม (Canada balsam) (ภาพที่ 7)





ภาพที่ 7

ลักษณะทางจุลกายวิภาคของรอยโรคจุดขาว

1. ส่วนที่ 1 (Surface zone) : คือผิวนอกสุดของรอยโรคซึ่งผิวเคลือบฟันบริเวณนี้ยังคงความต่อเนื่องดี ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 20-50 ไมโครเมตร และมีรูพรุนในเคลือบฟันประมาณร้อยละ 1 ของปริมาตร
2. ส่วนที่ 2 (Body of lesion) : เป็นส่วนที่อยู่ใต้ชั้นผิวนอก รูปร่างของชั้นนี้ยังคงเป็นรอยโรครูปสามเหลี่ยม มีรูพรุนในเคลือบฟันส่วนนี้ประมาณร้อยละ 20 ของปริมาตร เป็นส่วนที่เป็นผลจากการระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ
3. ส่วนที่ 3 (Dark zone) : เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างส่วนที่ 2 และส่วนที่ 4 มีรูพรุนในชั้นนี้ประมาณร้อยละ 2-4 ชั้นนี้เป็นส่วนที่แสดงถึงกระบวนการตกตะกอนกลับของแร่ธาตุภายหลังจากกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ
4. ส่วนที่ 4 (Translucent zone) : ส่วนนี้มีความกว้างตั้งแต่ 5-100 ไมโครเมตร มีรูพรุนในชั้นเคลือบฟันมากกว่าร้อยละ 1 เล็กน้อย เป็นส่วนที่มีการสูญเสียแร่ธาตุไปไม่มาก

ในการศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope) พบว่ารอยโรคจุดขาวจะมีช่องว่างระหว่างผลึกที่ใหญ่กว่าเคลือบฟันปกติ (Holmen และคณะ, 1985) นอกจากนี้ในเคลือบฟันส่วนที่มีการสูญเสียแร่ธาตุจะมีรอยต่อระหว่างปริซึม



(Prism junction) ที่ใหญ่ขึ้น รอยร้าว รอยแตกขนาดเล็ก (Cracks and microfissure) ที่มีอยู่แล้ว ขยายขนาดกว้างขึ้น สิ่งเหล่านี้เป็นการเปิดช่องทางให้มีการซึมผ่านของกรดได้ดียิ่งขึ้น เสี่ยงต่อการลุกลามของรอยผุเดิมต่อไป

#### 4. การดำเนินโรค

จากการศึกษาของ Dirks (1966) แสดงให้เห็นว่ารอยโรคจุดขาวไม่จำเป็นต้องมีดำเนินโรคกลายเป็นโพรงรอยผุเสมอไป ในบางกรณีเมื่อมีการกำจัดปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกไป เช่น คาร์โบไฮเดรต คราบจุลินทรีย์ และสนับสนุนปัจจัยที่ทำให้เกิดการผกผันของแร่ธาตุทดแทน เช่น ฟลูออไรด์ การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำลาย เป็นต้น จะทำให้รอยโรคนี้สามารถกลับไปสู่สภาวะสมดุลระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุและการผกผันแร่ธาตุได้โดยไม่ต้องทำการบูรณะ

รอยโรคที่หยุดการดำเนินโรคแล้ว อาจจะมีลักษณะเป็นสีขาวเช่นเดิมหรืออาจปรากฏเป็นผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะสีน้ำตาล (Brown spot) ก็ได้ จากการศึกษานี้ของ Zero (1994) แสดงให้เห็นว่ารอยโรคจุดขาวสามารถเกิดการผกผันแร่ธาตุได้อย่างรวดเร็ว โดยเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งผิวของรอยผุเริ่มแรกในชั้นเคลือบฟัน พบว่าความแข็งผิวสามารถกลับคืนมาถึงร้อยละ 20 หลังจากนำชิ้นฟันนั้นกลับเข้าไปอยู่ในช่องปากเพียง 4 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นอีก 2 เท่าเมื่อทำการแปรงฟันด้วยยาสีฟันที่ผสมฟลูออไรด์

แม้ว่ารอยโรคจุดขาวจะสามารถเกิดการผกผันของแร่ธาตุได้ก็ตาม แต่หากอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่สนับสนุนต่อการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุไปมากกว่าการผกผันแร่ธาตุ เมื่อเวลาผ่านไปมีการสูญเสียแร่ธาตุมากขึ้นเรื่อยๆ ผิวเคลือบฟันของรอยโรคจุดขาวจะนิ่มตัวลงและโครงสร้างถูกทำลายไปอย่างรวดเร็ว จนเกิดเป็นลักษณะของโพรงรอยผุที่สามารถตรวจพบได้ในทางคลินิก ต้องทำการรักษาด้วยการบูรณะต่อไป

## บทบาทของฟลูออไรด์ในการป้องกันการเกิดฟันผุ

### 1. ผลต่อการละลายของผลึกและการสูญเสียแร่ธาตุ

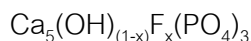
โดยขอกกล่าวถึงผลจากฟลูออไรด์ใน 2 รูปแบบได้แก่

#### 1.1 ฟลูออไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผลึกในโครงสร้างฟัน (Tooth bound fluoride)

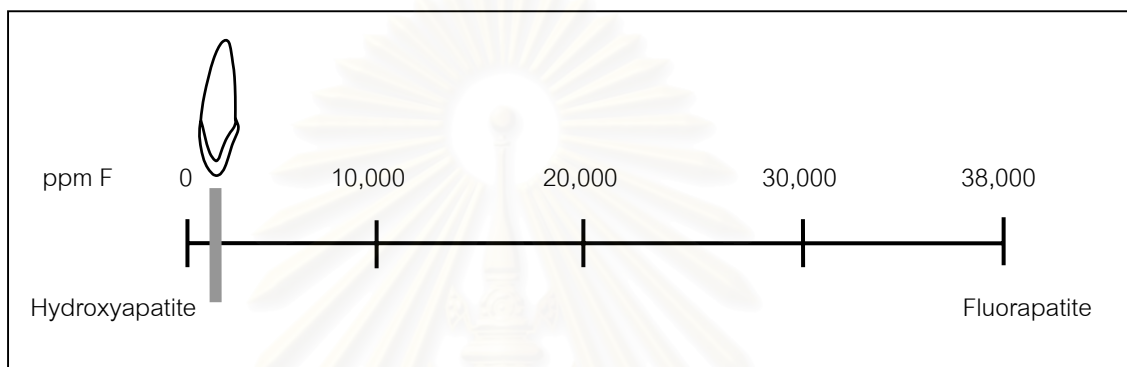
หมายถึงฟลูออไรด์ที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของผลึกอะพาไทท์ เช่น ฟลูออราอะพาไทท์ และฟลูออริเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ เป็นต้น

โดยปกติเคลือบฟันมนุษย์จะมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมและฟอสเฟตในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทท์  $[Ca_5(PO_4)_3OH]$  ซึ่งจะสามารถคงตัวอยู่ได้ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางหรือเป็นกรดอ่อนๆ นอกจากนี้โครงสร้างของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทท์สามารถถูกแทนที่ด้วยแร่ธาตุอื่นๆได้ เช่น แคลเซียมสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโซเดียม (Sodium) สังกะสี (Zinc) หรือสตรอนเตียม (Strontium) ฟอสเฟตสามารถถูกแทนที่ด้วยคาร์บอนเนต และไฮดรอกซิลไอออนสามารถถูกแทนที่ด้วยคาร์บอนเนตหรือฟลูออไรด์ เป็นต้น ซึ่งการที่มีแร่ธาตุอื่นๆเข้ามาแทนที่ในโครงสร้างอะพาไทท์นี้จะมีผลต่อคุณสมบัติการละลายตัวของผลึก (Moreno, Kresak และ Zahradnik, 1974; Featherstone และคณะ, 1983; Okazaki, Takahashi และ Kimura, 1984; Okazaki และ LeGeros, 1996) แร่ธาตุที่น่าสนใจได้แก่ ฟลูออไรด์ และคาร์บอนเนต ซึ่งคาร์บอนเนตเป็นส่วนประกอบของเคลือบฟันที่พบได้มากในฟันช่วงก่อนขึ้นสู่ช่องปาก

ฟลูออไรด์สามารถเข้าไปเป็นองค์ประกอบของผลึกได้ในช่วงที่มีการสร้างเมทริกซ์ของเคลือบฟัน (Enamel matrix secretion) ช่วงการพัฒนาของเคลือบฟัน (Enamel maturation) และช่วงหลังจากฟันขึ้นสู่ช่องปาก (Weatherell และคณะ, 1977) การแทนที่ไฮดรอกซิลไอออนโดยฟลูออไรด์ในผลึกอะพาไทท์จะทำให้ผลึกมีปริมาตรลดลง โครงสร้างแน่นขึ้น ความคงตัวทางเคมี (Chemical stability) ดีขึ้น เนื่องจากไฮดรอกซิลไอออนมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่เกินไปสำหรับช่องว่างในโครงสร้างของผลึก (Kay, Young และ Poster, 1964; Young และ Elliott, 1966) เมื่อฟลูออไรด์ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเล็กน้อยเข้ามาแทนที่จะเป็นขนาดที่พอดีกับช่องว่าง โดยการแทนที่ของฟลูออไรด์สามารถเกิดขึ้นได้หลายระดับ (ภาพที่ 8) ดังสูตรเคมีต่อไปนี้ (Moreno และคณะ, 1974)



โดย	X		คือระดับการแทนที่ของฟลูออไรด์ (Degree of substitution)
	X	=	0 คือไฮดรอกซีอะปาไทท์ที่ไม่มีการแทนที่ของฟลูออไรด์
	X	=	1 คือฟลูออราอะปาไทท์บริสุทธิ์ $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$
	$0 < X < 1$		คือฟลูออริเตดไฮดรอกซีอะปาไทท์



ภาพที่ 8 ระดับการแทนที่ของฟลูออไรด์ที่เข้าไปเป็นองค์ประกอบในผลึกอะปาไทท์

จากหลายการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลึกเคลือบฟันที่มีองค์ประกอบของฟลูออไรด์มากจะมีความคงตัวและต้านทานต่อการสูญเสียแร่ธาตุได้มากกว่าผลึกที่มีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบน้อย หรือเกิดการละลายน้อยกว่า (Driessens, 1973a, 1973b; Moreno และคณะ, 1974; Okazaki และคณะ, 1981; Legeros และคณะ, 1983; Tanaka, Moreno และ Margolis, 1993; Takagi, Liao และ Chow, 2000) หมายความว่าฟลูออราอะปาไทท์ และ ฟลูออริเตดไฮดรอกซีอะปาไทท์จะมีความต้านทานต่อการกัดได้มากกว่าไฮดรอกซีอะปาไทท์ (Moreno, Kresak และ Zahradnik, 1977) เช่น การศึกษาของ LeGeros และ Tung (1983) พบว่าถ้าฟลูออไรด์เข้าไปเป็นส่วนประกอบของอะปาไทท์มากขึ้นการละลายของแคลเซียมออกมาในสารละลายกรดจะน้อยลง

สัดส่วนขององค์ประกอบฟลูออไรด์ในฟันมนุษย์มีอยู่ค่อนข้างน้อย จากการศึกษาของ Robinson, Kirkham และ Weatherell (1996) พบว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในอะปาไทท์ของผิวเคลือบฟันชั้นนอกสุดสามารถมีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบได้ 1,000-2,000 ไมโครกรัมต่อกรัม และเคลือบฟันชั้นในได้ผิว 100 ไมโครเมตรมีอยู่ประมาณ 20-100 ไมโครกรัมต่อกรัม ในขณะที่ฟันปลาคอลาจะมีฟลูออไรด์อยู่ประมาณ 30,000 ไมโครกรัมต่อกรัม (ร้อยละ 75 ของ ฟลูออราอะปาไทท์บริสุทธิ์) และสามารถต้านทานการเกิดฟันผุได้มากกว่าฟันมนุษย์ถึง 2 เท่า

## 1.2 ฟลูออไรด์ในสารละลาย (Solution fluoride)

หมายถึง ฟลูออไรด์ไอออนในสารละลาย (Liquid phase) เช่นฟลูออไรด์ไอออนในน้ำลาย เป็นต้น

เมื่อเคลือบฟันสัมผัสกับกรดจากแบคทีเรีย จะเกิดการซึมผ่านของไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่โครงสร้างของเคลือบฟัน ถ้าในสารละลายกรดรอบผิวเคลือบฟันมีฟลูออไรด์ไอออนเป็นองค์ประกอบ ฟลูออไรด์จะช่วยในการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันดังนี้

1.2.1 ฟลูออไรด์ไอออนจะแพร่เข้าสู่พรุนของเคลือบฟันพร้อมกับไฮโดรเจนไอออน ทำให้ผลึกของเคลือบฟันที่ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนมีน้อยลง (Featherstone, 1977)

1.2.2 ฟลูออไรด์ถูกดูดซับ (Adsorption) สูผิวเคลือบฟัน โดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับองค์ประกอบของผลึก (Non-specific binding) แต่ทำให้รูพรุนของเคลือบฟันแคบลง ลดการแพร่ผ่านของกรดเข้าสู่ฟันและลดการซึมผ่านของแร่ธาตุหรือไอออนต่างๆที่ถูกละลายออกสู่ภายนอก (Hoppenbrouwers, Driessens และ Borggreven, 1987; ten Cate และ Duijsters, 1983b; Shellis และ Duckworth, 1994; ten Cate และ van Loveren, 1999)

1.2.3 ฟลูออไรด์ไอออนในสารละลายจะจับกับแคลเซียมและฟอสเฟตที่สูญเสียออกมาจากการละลายของผลึกเคลือบฟัน เกิดเป็นผลึกที่มีฟลูออไรด์เป็นองค์ประกอบ (Specific binding) ได้แก่ ฟลูออราพาไทท์ หรือฟลูออริเตดไฮดรอกซีอะพาไทท์ ซึ่งต้านทานการละลายต่อกรดได้ดีกว่าผลึกเดิม (Saleeb และ de Bruyn, 1972; Arends และ Christoffersen, 1990)

มีการศึกษามากมายที่กล่าวถึงผลของฟลูออไรด์ในสารละลายในการต้านทานต่อการสูญเสียแร่ธาตุ เช่น การศึกษาของ Manly และ Harrington (1959) พบว่าฟลูออไรด์เพียง 0.1 ส่วนในล้านส่วน ทำให้การละลายของเคลือบฟันมีอัตราช้าลง การศึกษาของ Margolis และคณะ (1986) พบว่าในสารละลายที่ปราศจากฟลูออไรด์ การสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 0.024 และ 0.058 ส่วนในล้านส่วนในสารละลายสามารถลดการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันได้อย่างมาก Margolis และคณะให้ข้อสรุปว่าการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันจะเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุอยู่ในสภาวะอิ่มตัวของแร่ธาตุและฟลูออไรด์อันเป็นองค์ประกอบของผลึกอะพาไทท์ (Fluoridated apatitic species) เนื่องจากฟลูออไรด์สนับสนุนให้เกิดการตกตะกอนกลับของผลึกอะพาไทท์ Featherstone และคณะ (1990) ได้รายงานว่าการมีฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2 ส่วนในล้านส่วนในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถลดอัตราการสูญเสียแร่ธาตุของผลึกอะพาไทท์ได้ถึง

ร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับการไม่มีฟลูออไรด์ในสารละลาย และได้เสนอสมการเกี่ยวกับอัตรา การละลายที่ลดลงตามความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในสารละลาย สามารถต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันได้อย่างมีนัยสำคัญ และหากเพิ่มความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในสารละลายจะทำให้อัตราการสูญเสียแร่ธาตุลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอัตราการละลายของเคลือบฟันลดลงเมื่อสารละลายรอบเคลือบฟันมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น (Featherstone และคณะ, 1990)

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของฟลูออไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์และฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในสารละลายต่อการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุของเคลือบฟัน ได้แก่ การศึกษาของ Nelson และคณะ (1983) รายงานว่าฟลูออไรด์ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดความเข้มข้นเพียง 1 ส่วนในล้านส่วนสามารถลดอัตราการละลายของผลิตภัณฑ์คาร์บอนเตอะปาไทท์ได้ร้อยละ 30 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์โครงสร้างมีฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วนเป็นองค์ประกอบไม่มีผลลดอัตราการละลายของเคลือบฟันได้อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Ögaard และคณะ (1988) เป็นการจำลองกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุในเคลือบฟันมนุษย์ เคลือบฟันปลาฉลาม และเคลือบฟันมนุษย์ที่สัมผัสกับสารละลายที่มีไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เป็นส่วนประกอบ พบว่าแม้ในเคลือบฟันของปลาฉลามที่อุดมไปด้วยฟลูออราไปไทท์ยังสามารถเกิดการสูญเสียแร่ธาตุได้ ในขณะที่กลุ่มฟันมนุษย์ที่ได้รับน้ำยาบ้วนปากมีการสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าฟลูออไรด์ในรูปองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟัน และฟลูออไรด์ในสารละลายมีประสิทธิภาพดีกว่า

จากหลายการศึกษา (Nelson และคณะ, 1983; Featherstone และคณะ, 1990; ten Cate และ Featherstone, 1991) พบว่า คาร์บอนเตอะปาไทท์ที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ 1000 ส่วนในล้านส่วน ไม่ช่วยให้การละลายของอะปาไทท์เปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าฟันมนุษย์ที่มีฟลูออไรด์ประมาณ 20-100 ส่วนในล้านส่วน ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการละลายได้ และแม้แต่ฟลูออไรด์ 1000 ส่วนในล้านส่วนบริเวณผิวส่วนนอกสุดของเคลือบฟันก็ไม่พบประโยชน์ในการช่วยต้านทานการละลายต่อกรด ยกเว้นฟลูออไรด์ในรูปองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผันกลับแร่ธาตุเท่านั้นที่มีความสามารถเพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการละลายได้



นอกจากนี้ หลายการศึกษายังให้การสรุปว่าฟลูออไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างฟันปกติของมนุษย์มาตั้งแต่ในขั้นตอนการสร้างฟันไม่เพียงพอที่จะมีผลในการป้องกันการละลายของเคลือบฟันเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่เป็นกรด (Fejerskov, Thylstrup และ Larsen, 1981; ten Cate และ Featherstone, 1991)

ดังนั้น จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าฟลูออไรด์ในสารละลายที่อยู่รอบผลึกอะพาไทท์มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่าฟลูออไรด์ในรูปองค์ประกอบโครงสร้างของเคลือบฟัน (Nelson และคณะ, 1983; Ögaard และคณะ, 1988; ten Cate และ Featherstone, 1991)

## 2. ผลต่อการสนับสนุนการผันกลับแร่ธาตุ

การผันกลับแร่ธาตุเป็นกระบวนการเติบโตของผลึกที่ถูกละลายไปบางส่วนโดยการตกตะกอนของแร่ธาตุจากสารละลาย โดยปกติ น้ำลายและของเหลวในคราบจุลินทรีย์ในสภาวะปกติจะมีความอิ่มตัวยังยวดต่อแร่ธาตุอันได้แก่ แคลเซียม และฟอสเฟตอยู่แล้ว (Moreno และ Margolis, 1988) เมื่อมีฟลูออไรด์อยู่ในสารละลาย จะทำให้สารละลายอิ่มตัวยังยวดด้วยฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ ฟลูออไรด์จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของผลึกที่ถูกละลายไปบางส่วนร่วมกับแคลเซียมและฟอสเฟต เกิดการตกตะกอนเป็นผลึกอะพาไทท์ใหม่ที่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์มากขึ้น ยิ่งระดับความอิ่มตัวยังยวด (Degree of supersaturation) มีมากขึ้น จะทำให้เกิดการตกตะกอนเร็วขึ้นด้วย ผลึกที่ตกตะกอนใหม่นี้จะมีการละลายตัวน้อยกว่าผลึกเริ่มแรก และต้านทานต่อการละลายเมื่อสัมผัสกับสารละลายกรดในภายหลังได้มากยิ่งขึ้น (Featherstone และคณะ, 1990)

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าฟลูออไรด์จะช่วยเร่งกระบวนการซ่อมแซมหรือการผันกลับแร่ธาตุของรอยผุจำลอง ทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ และตำแหน่งของแร่ธาตุที่ตกตะกอน (Fejerskov และ Clarkson, 1996) เช่น ฟลูออไรด์ในความเข้มข้นต่ำกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน (52.6 ไมโครโมลต่อลิตร) ในสารละลายสามารถทำให้เกิดการเริ่มต้นของการเปลี่ยนรูป เช่น ไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮดรต (DCPD) เปลี่ยนไปเป็นฟลูออราพาไทท์ ซึ่งจะต้านทานต่อการละลายต่อกรดภายหลังได้มากขึ้นกว่าเดิม ฟลูออไรด์สนับสนุนให้เกิดการสร้างผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะต้านทานต่อการถูกกรดทำลายได้มากขึ้น (Brown, 1974) นอกจากนี้การเร่งกระบวนการผันกลับแร่ธาตุของฟลูออไรด์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียมและฟอสเฟตใน

สารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุด้วย ที่จะทำให้เกิดการสะสมแร่ธาตุในชั้นต่างๆของ รอยผุ โดยเฉพาะชั้นผิวนอก (ten Cate, 1990) และส่วนฐานของรอยโรค (Dark zone) (Silverstone, 1977; Featherstone และคณะ, 1990)

ผลจากหลายการศึกษาพบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำสามารถสนับสนุนให้เกิด การผันกลับแร่ธาตุได้อย่างน่าอัศจรรย์ (Koulourides, Cueto และ Pigman, 1961; van den Hoek, Feenstra และ de Bruyn, 1980; Featherstone และคณะ, 1990; ten Cate, 1990) เช่น McCann และ Brudevold (1966) (อ้างถึงใน Levine, 1991) พบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำที่ เติมลงในสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมและฟอสเฟต ทำให้เกิดการตกตะกอนของ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ และการศึกษาต่อมาพบว่าผลึกอะพาไทท์ที่เกิดขึ้นในสภาพที่มีฟลูออไรด์ ความเข้มข้นต่ำนี้ จะเป็นผลึกที่รูปร่างดี ขนาดใหญ่ และต้านทานต่อการละลายได้ดี การศึกษา ของ van den Hoek และคณะ (1980) พบว่าฟลูออไรด์ในสารละลายความเข้มข้นประมาณ 0.2 ส่วนในล้านส่วน ช่วยเพิ่มอัตราการตกตะกอนของไฮดรอกซีอะพาไทท์ได้ การศึกษาของ Varughese และ Moreno (1981) พบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้น 0.05 ส่วนในล้านส่วนใน สารละลายที่อิ่มตัวยิ่งยวดด้วยไฮดรอกซีอะพาไทท์ สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนของ ฟลูออไรด์ไฮดรอกซีอะพาไทท์ได้ Featherstone และคณะ (1990) ทำการศึกษาและเสนอว่า ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุของ อะพาไทท์ที่เพิ่มขึ้น และสนับสนุนการผันกลับแร่ธาตุของอะพาไทท์ ทำให้ผลต่างของกระบวนการ สูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุลดลง Levine (1991) อ้างว่าในช่วงกระบวนการสูญเสีย แร่ธาตุของเคลือบฟัน ผลึกอะพาไทท์ส่วนที่ไม่สมบูรณ์จะเกิดการละลายได้ง่ายกว่าผลึกอื่นๆ จากนั้นในช่วงที่มีการผันกลับแร่ธาตุ ผลึกเหล่านี้จะถูกแทนที่ด้วยผลึกใหม่ที่ดีกว่า ต้านทานต่อ การละลายต่อกรดได้ดีกว่า ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของฟลูออไรด์ไอออน ถ้าเปรียบเทียบในทาง คลินิกคือรอยผุเริ่มแรกสามารถเกิดการผันกลับแร่ธาตุและหยุดการดำเนินโรคได้ จากการศึกษา ของ Gibbs และคณะ (1995) พบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำเท่ากับ 0.058 ส่วนในล้านส่วนใน สารละลาย สามารถสนับสนุนให้เกิดการผันกลับของแคลเซียมในรอยผุจำลองได้ และมีความสัมพันธ์กันตามความเข้มข้นของฟลูออไรด์คือยิ่งฟลูออไรด์มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้เกิด การผันกลับของแคลเซียมมากขึ้นด้วย (ในการศึกษาใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงสุด 0.138 ส่วนใน ล้านส่วน)

อย่างไรก็ตามมีบางการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่สูงเกินไปจะทำให้ เกิดการยับยั้งการผันกลับแร่ธาตุได้ เช่นการศึกษาของ Dirks (1966) กล่าวว่า การสะสมของ ฟลูออราพาไทท์ที่ผิวเคลือบฟันจะไปปิดรูพรุน แร่ธาตุไม่สามารถซึมผ่านเข้าสู่รอยโรคข้างใต้ได้ แม้



ผิวเคลือบฟันนั้นมีความต้านทานต่อการเกิดฟันผุได้มากกว่าผิวเคลือบฟันเดิม แต่ยังคงมีส่วนข้างใต้ที่ยังเป็นผลจากการสูญเสียแร่ธาตุอยู่ Lammers, Borggreven และ Driessens (1990); Lammers และคณะ (1991) พบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2 ส่วนในล้านส่วนทำให้ผิวเคลือบฟันชั้นนอกมีฟลูออไรด์สูงมาก ลดการซึมผ่านของแร่ธาตุเข้าสู่ส่วนรอยโรคข้างใต้ (ten Cate และคณะ, 1988) เช่นเดียวกับอีกหลายการศึกษาที่กล่าวว่า เมื่อมีการเร่งให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุมากเกินไป ในสารละลายที่มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้ผลึกเติบโตอย่างรวดเร็วจนอุดตันรูพรุนที่ผิวเคลือบฟัน ทำให้รอยโรคข้างใต้เกิดการหยุดการดำเนินโรค (Arrested) มากกว่าเกิดการผันกลับแร่ธาตุ (ten Cate และ Duijster, 1982)

แต่ในขณะเดียวกันจากการศึกษาของ ten Cate และ Duijsters, 1982 พบว่าในฟันผู้จำลองของฟันวีที่ผ่านการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปาก ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2 ส่วนในล้านส่วนยังสามารถสนับสนุนให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุและลดการสูญเสียแร่ธาตุได้

อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปถึงความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งการผันกลับแร่ธาตุ แต่สรุปได้ว่าการรักษาให้มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในช่องปากอย่างสม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยสนับสนุนการผันกลับแร่ธาตุ และต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 3. ผลต่อแบคทีเรียในช่องปาก

ผลของฟลูออไรด์ต่อแบคทีเรียในช่องปากที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ผลในการลดการสร้างกรดจากแบคทีเรียซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำ (Kashket, Rodriguez และ Bunick, 1977) โดยเมื่อความเข้มข้นฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นหรือค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดต่ำลงจะสามารถยับยั้งการสร้างกรดได้มากขึ้น

ฟลูออไรด์ยับยั้งเอนไซม์อินโนเลส (Enolase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการแตกตัวของน้ำตาล (Glycolysis) ทำให้สามารถยับยั้งการสร้างกรดได้โดยตรง และมีผลทางอ้อมโดยลดการส่งผ่านน้ำตาลเข้าสู่เซลล์จากการสร้างกรดและการสร้างไกลโคเจนที่ลดลง ซึ่งปกติการสร้างไกลโคเจนมีผลต่อการคงอยู่ของแบคทีเรียในเวลาที่ไม่มีการโบไฮเดรตจากภายนอก (Hamilton, 1977)

โดยปกติในขณะที่สิ่งแวดลอมภายนอกมีสภาวะเป็นกรด แต่ในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) ของเซลล์แบคทีเรียจะมีสภาวะค่อนข้างเป็นกลางจากการปั๊มไฮโดรเจนไอออนออกจากเซลล์ เพื่อให้สภาวะภายในเซลล์เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ฟลูออไรด์จะมีผลต่อการผ่านเข้าออกของไฮโดรเจนไอออนของเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย (Kashket และ Kashket, 1985) โดยมีผลต่อการผ่านออกมากกว่าการผ่านเข้า ในการเข้าสู่เซลล์ของไฮโดรเจนไอออนเกิดจากการแพร่ผ่านในรูปไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงหรือในสภาวะกรด (Eisenberg, Bender และ Marquis, 1980) แต่ฟลูออไรด์มีผลในการผ่านออกของไฮโดรเจนไอออนโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เอทีพีเอส (ATPase) (Sutton, Bender และ Marquis, 1987) ซึ่งเอนไซม์นี้ปกติจะอยู่ที่เซลล์เมมเบรน และฟลูออไรด์ภายนอกสามารถมีผลต่อเอนไซม์นี้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านเข้าเซลล์ การยับยั้งการสร้างกรดของแบคทีเรียเกิดจากการปรับเปลี่ยนให้ไซโตพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรียมีสภาวะเป็นกรดมากกว่าผลโดยตรงของตัวฟลูออไรด์เอง

จากการที่ฟลูออไรด์สามารถยับยั้งการสร้างกรดของแบคทีเรียได้มีผลทำให้ความเป็นกรดในคราบจุลินทรีย์ลดลง จึงสรุปได้ว่าฟลูออไรด์มีผลโดยตรงต่ออัตราการละลายของแร่ธาตุจากฟันโดยการลดสภาวะความไม่อิ่มตัวของคราบจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุ (Wahab, Shellis และ Elderton, 1993) และช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของคราบจุลินทรีย์ให้เพิ่มขึ้นด้วย (Shellis และ Dibdin, 1988) ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของคราบจุลินทรีย์กลับสู่สภาวะที่เป็นกลางได้อย่างรวดเร็วหลังจากทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

### วัตถุประสงค์ชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานทันตกรรมสำหรับเด็กในปัจจุบัน นอกเหนือไปจากวัสดุอมัลกัมแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิต (ตารางที่ 3) ในคุณสมบัติด้านการปล่อยฟลูออไรด์ วัตถุประสงค์ส่วนใหญ่มีรูปแบบการปล่อยฟลูออไรด์ในลักษณะคล้ายกันคือ ความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ถูกปล่อยออกมาใน 24 ชั่วโมงแรกจะสูง (Burst effect) (Grobler, Rossouw และ Van Wyk Kotze, 1998; Galvan, Robertello และ Lynde,

2000; Helvatjoglu-Antoniades และคณะ, 2001) หลังจากนั้นจะลดลงจนคงที่อยู๋ในระดับต่ำอีก ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งยังไม่มืข้อสรุปที่แน่ชัดว่าเป็นเวลานานเท่าใด

### 1. กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass ionomer)

เป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนกลาสไอโอโนเมอร์แบบดั้งเดิม (Conventional glass ionomer cement) ที่มีคุณสมบัติด้อยหลายประการ เช่น ด้านทานต่อการสึกได้ในระดับปานกลางถึงต่ำ พื้นผิวค่อนข้างขรุขระ (Smales และ Joyce, 1978; Tyas, 1995) มีความทึบแสงมากไม่สวยงาม เป็นต้น (Asmussen, 1983; Mathis และ Ferracane, 1989; McCaghren และคณะ, 1990)

กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน มีส่วนประกอบของวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์เดิมร่วมกับการเติมส่วนเรซิน เพื่อเสริมคุณสมบัติด้านความแข็งแรง กำหนดให้บ่มตัวโดยการฉายแสงได้ตามเวลาที่ต้องการ (Sidhu และ Watson, 1995) โดยที่คุณสมบัติด้านการยึดเกาะกับเนื้อฟัน และการปล่อยฟลูออไรด์ยังคงอยู่ (Mathis และ Ferracane, 1989; Mitra, 1991a, 1991b; Momoi และ McCabe, 1993; Maneenut และ Tyas, 1995; Sidhu และ Watson, 1995; Fritz, Finger และ Uno, 1996)

#### ส่วนประกอบ

กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ (Sidhu และ Watson, 1995; Nicholson และ Croll, 1997)

##### 1. ส่วนของเหลว (Liquid component)

เป็นส่วนผสมของโมโนเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble methacrylate monomer) เช่น Hydroxyethyl methacrylate (HEMA) กรด (Acid) เช่น กรดโพลีอะคริลิก (Polyacrylic acid) และน้ำ (Water)

##### 2. ส่วนผง (Powder component)

เช่น Aluminum-fluorosilicate glass

ตารางที่ 3 สรุปคุณสมบัติวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ใช้ในงานทันตกรรมสำหรับเด็ก

<i>Properties</i>	Glass ionomers	Resin-modified Glass ionomers	Compomers	Resin composites
<i>Setting</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Self-cure (acid/base reaction)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Self-cure (acid/base reaction)</li> <li>Resin-cure</li> <li>Light-cure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Light-cure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Light-cure</li> </ul>
<i>Mixing</i>	Two-component system Mixing required	Two-component system Mixing required	One-component system No mixing required	One-component No mixing required (dual-or self cured composite require mixing)
<i>Delivery system</i>	Capsule or hand mix	Capsule or hand mix	Compule, screw or aplitips	Compule, screw or aplitips
<i>Fluoride-release</i>	High	Moderate - High	Moderate	Minimal –none
<i>Adhesion</i>	Chemically bonds to tooth (self-adhesive)	Chemically bonds to tooth (self-adhesive some require primer)	Mechanically bonds to tooth, bonding agents required (not self adhesive)	Mechanically bonds to tooth, bonding agents required (not self-adhesive)
<i>Esthetics</i>	Opaque	Good	Very good	Excellent
<i>Physical properties</i>	Good	Good-very good	Very good	Excellent
<i>Handling properties</i>	Fair	Good	Excellent	Very good
<i>Ease-of-use</i>	Initially moisture-sensitive, relatively few steps, slower curing	Less moisture sensitive, relatively few steps	Tolerates more moisture, requires bonding	Technique sensitive, rubber dam and acid etching/priming/ bonding required
<i>Solubility</i>	Low	Moderate - low	Moderate	Low
<i>Dimensional changes</i>	Thermal expansion/ contraction similar to tooth structure	Higher thermal expansion/contraction and polymerization shrinkage	Higher thermal expansion/contraction and polymerization shrinkage	Higher thermal expansion/contraction and polymerization shrinkage
<i>Product</i>	Fuji IX Ketac-molar Fuji II	Fuji II LC capsule Vitremer Photac-Fil Quick	Dyract AP Compoglass Flow Resolution F2000	TPH spectrum Prodigy Z 100 Z 250 Charisma

นอกจากนี้อาจมีส่วนประกอบของสารที่ทำให้วัสดุบ่มตัวได้ด้วยแสง (Light-initiating compound, photoinitiator) รวมอยู่ในชนิดบ่มตัวด้วยแสง หรือมีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการบ่มด้วยตัวเอง (Self-cure resin reaction) ในประเภทบ่มตัวเองหลังจากผสมโดยไม่ต้องฉายแสง

ปฏิกิริยาการบ่มตัวของวัสดุชนิดนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยเมื่อนำส่วนของเหลวและส่วนผงผสมกันจะเกิดปฏิกิริยากรด-เบสขึ้น (Acid-base reaction) ตามด้วยปฏิกิริยาโฟลีโอเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นจากการฉายแสงและตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical initiators) หรือทั้ง 2 วิธีการร่วมกัน (Watts, 1998; Hse และคณะ, 1999)

กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินรุ่นใหม่ แม้มีการเติมส่วนเรซินเพิ่ม แต่คุณสมบัติโดยรวมยังคงคล้ายคลึงกับกลาสไอโอโนเมอร์มากกว่าเรซินคอมโพสิต แม้ความแข็งแรงของวัสดุจะเพิ่มขึ้น แต่พบว่ายังคงมีข้อด้อยในเรื่องการหดตัวหลังเกิดปฏิกิริยาโฟลีโอเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) (Berg, 1998)

### การปล่อยฟลูออไรด์

การปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน มีรูปแบบใกล้เคียงกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (Momi และ McCabe, 1993; Diaz-Arnold และคณะ, 1995) คือการปล่อยฟลูออไรด์มี 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกหลังจากวัสดุเกิดการบ่มตัวและเกิดปฏิกิริยากรด-เบสขึ้น ซึ่งฟลูออไรด์ที่ถูกปล่อยออกมาส่วนมากอยู่ในรูปของโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride) (Hse และคณะ, 1999) ฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาในช่วงแรกนี้จะมี ความเข้มข้นค่อนข้างสูง (Initial burst) และเป็น การปล่อยจากส่วนผิวของวัสดุ ในช่วงต่อมาเป็นการปล่อยฟลูออไรด์ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นฟลูออไรด์ที่ซึมผ่านออกมาจากส่วนของเนื้อวัสดุ (Second bulk diffusion) (Verbeeck และคณะ, 1998) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าระยะเวลาของช่วงหลังนี้เท่ากับ 2 อาทิตย์ไปจนถึงมากกว่า 12 เดือน (Mitra, 1991b) นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน สามารถดูดซับฟลูออไรด์จากแหล่งอื่นๆ (Recharging effect) เช่น ฟลูออไรด์เจล ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์แล้วค่อยๆ ปล่อยออกมาในภายหลังได้เป็นระยะเวลายาวนาน (Takahashi, Emilson และ Birkhed, 1993; Creanor และคณะ, 1994; Preston และคณะ, 1999) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นฟลูออไรด์จะมีความแตกต่างกันในระหว่างแต่ละผลิตภัณฑ์ด้วย (Mitra, 1991b)



มีการศึกษาบางการศึกษาที่เสนอว่าการปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินถูกขัดขวางจากส่วนประกอบที่เป็นเรซิน (Mitra, 1991b) เช่น Wilson (1990) เสนอว่าอัตราการปล่อยฟลูออไรด์น่าจะขึ้นอยู่กับการที่มีองค์ประกอบของเรซินเข้ามาแทนที่ในส่วนขององค์ประกอบน้ำ ทำให้ส่วนของน้ำมีน้อยลง และชนิดของเรซินที่เป็นองค์ประกอบก็มีผลต่อการปล่อยฟลูออไรด์ด้วย (Momoi และ McCabe, 1993) จากการศึกษาของ Mathis และ Ferracane (1989) เสนอว่าในวัสดุที่ป่นตัวแล้ว ฟลูออไรด์ไอออนจะถูกล้อมรอบด้วยเรซิน ทำให้อัตราการปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสู่ภายนอกลดลงและช้าลงเมื่อเทียบกับกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม ปัจจุบันเหล่านี้ทำให้กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินแต่ละผลิตภัณฑ์จากหลากหลายบริษัทที่มีการปล่อยฟลูออไรด์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันไป

## 2. เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด (Polyacid-modified resin composite, PMC)

เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด หรือที่นิยมเรียกว่า คอมโพเมอร์ (Compomer) เป็นวัสดุบูรณะซึ่งนำเอาคุณสมบัติส่วนที่ดีของเรซินคอมโพสิตในด้านความสวยงาม ความแข็งแรง และคุณสมบัติในการปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์มารวมกัน โดยพยายามกำจัดข้อด้อยของวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวออกไป อย่างไรก็ตามวัสดุชนิดนี้จะมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตมากกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจำหน่ายอยู่ถึงประมาณร้อยละ 15 ของวัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด (Berg, 1998; Eichmiller และ Marjenhoff, 1998)

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกายภาพ การนำไปใช้ ความสวยงาม และความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด จะพบว่าเหนือกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม และกลาสไอโอโนเมอร์ดัดแปลงด้วยเรซิน (Braem และคณะ, 1995) โดยคุณสมบัติทางกายภาพจะเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิต (Attin, Vataschki และ Hellwig, 1996)



## ส่วนประกอบ

เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่

### 1. ส่วนเรซินหรือโมโนเมอร์ ซึ่งประกอบด้วย

1.1 คาร์บอกซีเลท โมโนเมอร์ (Acidic carboxylate monomer) เป็นชนิดเดียวกับ องค์ประกอบโมโนเมอร์ในกลาสไอโอโนเมอร์

1.2 เมทาอะครายเลท โมโนเมอร์ (Methacrylate group) เป็นชนิดเดียวกับองค์ประกอบโมโนเมอร์ในเรซินคอมโพสิต

### 2. ส่วนผงแก้ว (Basic glass filler particles)

เช่น ฟลูออโรซิลิเกตกลาส (Fluoro-silicate-glass)

โดยส่วนมากส่วนประกอบทั้งหมดจะเตรียมมาสำเร็จ (Single component) ในหลอด (Syringe) หรือ แคปซูล (Capsule) โดยปฏิกิริยาการบ่มตัวของวัสดุชนิดนี้เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันจากการฉายแสงเพียงอย่างเดียว (Light-initiated polymerization) ต่อมาเมื่อวัสดุมีการดูดซึมน้ำปฏิกิริยากรด-เบสจึงจะเกิดขึ้น และเกิดการปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุ (Berg, 1998; Nicholson และคณะ, 1999)

## การปล่อยฟลูออไรด์

การปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุชนิดนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยากรด-เบส เมื่อวัสดุมีการดูดซึมน้ำหลังจากวัสดุบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันแล้ว (Berg, 1998) หรือเกิดจากการแพร่ผ่านของสารประกอบฟลูออไรด์ที่ละลายน้ำได้ เช่น เกลือฟลูออไรด์ที่เติมเพิ่มลงไป ในองค์ประกอบของวัสดุในบางผลิตภัณฑ์

ปฏิกิริยากรด-เบสเกิดจากส่วนของกลุ่มคาร์บอกซิลิก (Carboxylic group, -COOH) ในโมโนเมอร์กับส่วนของกลาส (Glass particle) ทำให้เกิดการสร้างเกลือคาร์บอกซิลิก (Carboxylic salts) และการปล่อยฟลูออไรด์ แต่ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ทำให้ฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมามีความเข้มข้นต่ำ (Hickel และคณะ, 1998; McCabe, 1998; Meyer, Cattani-Lorente และ Dupuis, 1998; Helvatjoglu-Antoniades และคณะ, 2001)

การศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วย โพลีแอซิดส่วนใหญ่พบว่า เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ในระดับต่ำกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมและกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินอย่างมีนัยสำคัญ (Bala และคณะ, 1997; Karantakis และคณะ, 2000; Helvatjoglu-Antoniades และคณะ, 2001; Vermeersch, Leloup และ Vreven, 2001) และสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญ (Bala และคณะ, 1997; Karantakis และคณะ, 2000; Helvatjoglu-Antoniades และคณะ, 2001; Vermeersch และคณะ, 2001) มีบางการศึกษาพบว่าในระยะยาว การปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินอย่างมีนัยสำคัญ เช่นการศึกษาของ Grobler และคณะ (1998) พบว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำกลั่นจากเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Dyract<sup>®</sup> ในช่วงเวลา 300 วันไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Vitremer<sup>®</sup> และการศึกษาของ Shaw, Carrick และ McCabe (1998) พบว่าแม้ช่วงแรกฟลูออไรด์จากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินจะมีความเข้มข้นสูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด แต่ต่อมาจะลดลงอย่างรวดเร็วจนอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

การศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยฟลูออไรด์ของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด ส่วนมากเป็นการศึกษาของผลิตภัณฑ์ Dyract<sup>®</sup> และ Compoglass<sup>®</sup> โดยพบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดมีแบบแผนการปล่อยฟลูออไรด์เหมือนกับกลาสไอโอโนเมอร์ และกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน คือมีการปล่อยฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงในช่วงวันแรกๆและลดระดับลงอย่างรวดเร็วจนอยู่ในระดับต่ำอย่างคงที่ (de Araujo และคณะ, 1996; Bala และคณะ, 1997; Yap, Khor และ Foo, 1999; Peng และคณะ, 2000) มีเพียงการศึกษาของ Shaw และคณะ (1998) ที่ไม่พบแบบแผนการปล่อยฟลูออไรด์แบบนี้ นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า Compoglass<sup>®</sup> สามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้เท่ากับหรือมากกว่า Dyract<sup>®</sup> (Bala และคณะ, 1997; Yap และคณะ, 1999) โดยการศึกษาของ Vercruyssen, De Maeyer และ Verbeeck (2001) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> สามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ในระยะยาวและในความเข้มข้นที่มากกว่าผลิตภัณฑ์อื่นที่เคยมีการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับฟลูออไรด์จากฟลูออไรด์เฉพาะที่ต่างๆของเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดยังคงมีผลขัดแย้งกันอยู่ จากการศึกษาของ Attin และคณะ (1999) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดบางผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับฟลูออไรด์หรือปล่อยฟลูออไรด์ในอัตราสูงขึ้นหลังจากสัมผัสกับแหล่งฟลูออไรด์อื่นๆ ซึ่งต่าง

จากวัสดุประเภททกลาสไอโอโนเมอร์ แต่จากการศึกษาของ Preston และคณะ (1999) Peng และคณะ (2000) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดสามารถดูดซับและปล่อยฟลูออไรด์ได้เพิ่มขึ้นหลังจากสัมผัสกับฟลูออไรด์เจล

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดแต่ละผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย (Yip และ Smale, 2000) เนื่องจากแต่ละผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของกลาส เรซิน การดูดน้ำ และการแพร่ของฟลูออไรด์ชนิดต่างๆผ่านส่วนเมทริกซ์ (Matrix permeability) ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อการปล่อยฟลูออไรด์ และผลิตภัณฑ์บางชนิดมีการเติมฟลูออไรด์ในรูปแบบอื่นๆลงไปเพิ่ม เช่น Ytterbiumtrifluoride ในผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> F, Compoglass<sup>®</sup> Flow ทำให้เกิดความแตกต่างในการปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นเดียวกับ Vermeersch และคณะ (2001) ที่เสนอว่าผลการศึกษาที่ได้ไม่สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากวัสดุในระหว่างวัสดุแต่ละชนิดได้ ยกเว้นวัสดุที่ผลิตจากบริษัทเดียวกัน

### 3. เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ (Fluoride containing resin composite)

เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ให้ความสวยงามดีที่สุดในกลุ่มวัสดุบูรณะสีเหมือนฟัน มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่ดีกว่าวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันอื่นๆ ในปัจจุบันเรซินคอมโพสิตสามารถใช้ในการบูรณะได้ในเกือบทุกรูปแบบ

#### ส่วนประกอบ

เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่ (Glasspoole, Erickson และ Davidson, 2001)

1. ส่วนเรซินหรือโมโนเมอร์ เช่น Bisphenol A diglycidyl ether dimethacrylate (Bis-GMA), Tri[ethylene glycol] dimethacrylate (TEGDMA) เป็นต้น
2. ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ วัสดุอุดแทรก (Filler) เช่น แก้ว ควอตซ์ (Quartz) และสารประกอบฟลูออไรด์ในรูปแบบต่างๆ เช่น เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) กลาสที่ปล่อยฟลูออไรด์ได้ (Leachable glasses) และฟลูออไรด์ที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic fluoride) เป็นต้น

การเติมฟลูออไรด์ลงไปในองค์ประกอบของเรซินคอมโพสิตที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการผุต่อบริเวณขอบรอยต่อของวัสดุกับผิวเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน (Arends, Ruben และ Dijkman, 1990; Arends และ van der Zee, 1990; Dijkman และ Arends, 1992) ซึ่งผลจากการศึกษาของ Donly และ Gomez (1994) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์สามารถยับยั้งการผุต่อบริเวณขอบวัสดุได้

### การปล่อยฟลูออไรด์

เมื่อพิจารณาการปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์พบว่าเกิดจากการแพร่ผ่านของฟลูออไรด์จากเกลือฟลูออไรด์ที่เติมเข้าไปในองค์ประกอบ (Arends และ Ruben, 1988) โดยรูปแบบการปล่อยฟลูออไรด์เป็นรูปแบบเดียวกันกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (Swift, 1989; DeSchepper และคณะ, 1990) แต่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ถูกปล่อยออกมาต่ำกว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ค่อนข้างมาก คือประมาณ 50-100 เท่าของความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากกลาสไอโอโนเมอร์ในวันแรก และ 1-3 เท่าในระยะเวลา 2 เดือน (Forsten, 1990) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาอื่นพบว่า ในระยะยาวเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์สามารถปล่อยฟลูออไรด์ในระดับต่ำใกล้เคียงกับฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (Temin และ Csuros, 1988; Dijkman และคณะ, 1993)

Helvatjoglu-Antoniades และคณะ (2001) ทำการศึกษาการปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดและเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์พบว่า ทุกวัสดุมีแบบแผนการปล่อยฟลูออไรด์เหมือนกันคือ ฟลูออไรด์จะถูกปล่อยออกมามากในช่วง 4-24 ชั่วโมงแรก ในสัปดาห์ที่ 2 ความเข้มข้นของฟลูออไรด์จะลดลงทีละน้อยแต่ยังคงปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จนครบ 16 อาทิตย์ นอกจากนี้ยังพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินและเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดมีการปล่อยฟลูออไรด์มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์และเรซินคอมโพสิตสำหรับเคลือบหลุมร่องฟันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเนื่องมาจากเรซินคอมโพสิตไม่มีปฏิกิริยากรด-เบสเกิดขึ้น

จากการศึกษาของ Vermeersch และคณะ (2001) พบว่าการปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ในน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีความเข้มข้นน้อยมาก และน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดถึง 10 เท่าในช่วง

24 ชั่วโมงแรก ซึ่งเหมือนกับผลการศึกษานี้ของ Takahashi และคณะ (1993); Suljak และ Hatibovic-Kofman (1996) และความเข้มข้นของฟลูออไรด์จากเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดที่น้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินน่าจะเนื่องมาจากเรซินเมทริกซ์ที่แน่น น้ำซึมผ่านได้น้อย และเกลือฟลูออไรด์ในเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดละลายน้ำได้น้อย

จากการศึกษาของ Preston และคณะ (1999) พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์มีการดูดซับฟลูออไรด์จากแหล่งอื่นๆได้ แต่ในความเข้มข้นน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### กลุ่มตัวอย่าง

พนักงานถาวรที่สามที่มีผิวพาด้านประชิด ด้านใกล้แก้ม หรือด้านใกล้ลิ้น อย่างน้อย 1 ด้านที่ไม่มีลักษณะของฟันผุ รอยร้าว รอยแตกหัก หรือความผิดปกติอื่นๆ และไม่เคยได้รับการบูรณะมาก่อน จำนวน 60 ซี่

การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (เดมศรี ชำนิจารกิจ, 2540)

คำนวณจากสูตร

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

โดย

$D$  = ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

$S_p^2$  =  $(S_1^2 + S_2^2) / 2$  (กรณี  $n_1 = n_2$  และ  $S$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

$Z_{\alpha}$  (one-tail) = 1.64 (ค่าจากตารางความน่าจะเป็นแบบปกติ เมื่อค่า  $\alpha = 0.05$ )

$Z_{\beta}$  (one-tail) = 1.28 (ค่าจากตารางความน่าจะเป็นแบบปกติ เมื่อค่า  $\beta = 0.1$ )

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างในวิจัยนี้ คำนวณโดยอ้างอิงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการศึกษาในอดีต และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (Type I error,  $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (Type II error,  $\beta$ ) เท่ากับ 0.1



ในกรณีที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของ Marinelli และคณะ (1997) ซึ่งศึกษาผลของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินพร้อมกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอื่น ๆ ต่อการผันกลับแร่ธาตุของรอยผุจำลองที่สัมผัสกับวัสดุ ได้ค่าของพื้นที่รอยผุเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกันกับวัสดุที่จะใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ  $245 \pm 170$  และ  $101 \pm 69$  ตารางไมโครเมตรตามลำดับ มาคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม} &= \frac{(1.64 + 1.28)^2 (2)[(28,900 + 4,761) / 2]}{(245 - 101)^2} \\ &= 13.84 \text{ ตัวอย่างต่อกลุ่ม} \end{aligned}$$

และหากใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของ Kotsanos (2001) ที่ทำการศึกษาผลของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ต่อการผันกลับแร่ธาตุของรอยผุเริ่มแรกที่สัมผัสกับวัสดุ ได้ผลความแตกต่างของความลึกเฉลี่ยของรอยผุจากเครื่องวัดความแข็งผิว (Kentron microhardness tester) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างก่อนและหลังสัมผัสวัสดุของกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกันกับวัสดุที่จะใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ  $25.1 \pm 15.2$  และ  $47.8 \pm 25.2$  นาโนเมตรตามลำดับมาคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม} &= \frac{(1.64 + 1.28)^2 (2)[(231.04 + 635.04) / 2]}{(47.8 - 25.1)^2} \\ &= 14.33 \text{ ตัวอย่างต่อกลุ่ม} \end{aligned}$$

ดังนั้นการศึกษานี้ จึงกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้เท่ากับ 15 ตัวอย่างต่อกลุ่ม

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรชนิดความเร็วต่ำ (ISOMET™ 1000, BUEHLER, USA)
- 1.2 แผ่นร้อนและเครื่องปั่นผสมสารชนิดแม่เหล็กพร้อมแท่งแม่เหล็กกวนสาร (Hotplate & Magnetic Stirrer, LAB-LINE INSTRUMENTS INC., USA)
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Digital Balance, BP 110S, Sartorius AG, Germany)
- 1.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสพร้อมเครื่องเขย่า (Shaker Incubator, STUART SCIENTIFIC Co. Ltd., UK)
- 1.5 เครื่องเขย่าศูนย์กลาง (Orbital Shaker, IKA LABORATECHNIK STAUFEN, GERMANY)
- 1.6 นาฬิกาจับเวลา (Timer)
- 1.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- 1.8 ไมโครมิเตอร์ (Digimatic Micrometer, MITUTOYO, JAPAN)
- 1.9 คาลิเปอร์ (Digimatic Caliper, MITUTOYO, JAPAN)
- 1.10 เบอร์นิชเชอร์ปลายกลม (Ball burnisher)
- 1.11 ขวดพลาสติกชนิดมีฝาปิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8, 1.8 และ 1.6 เซนติเมตร
- 1.12 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereomicroscope, OLYMPUS, JAPAN)
- 1.13 เครื่องฉายแสง (Curing light XL 3000, 3M Dental product St. Paul Division, USA)
- 1.14 ออโตเมติกไปเปต ขนาด 100, 200 และ 1000 ไมโครลิตร (Automatic Pipet, RAININ, USA)
- 1.15 เครื่องวัดความแข็งของวัสดุพร้อมตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (Durometer, Model 471, Pacific Transducer Corp., USA)
- 1.16 ดิสเพนเซอร์ ขนาด 2-10 มิลลิลิตร และขนาด 25-100 มิลลิลิตร (Dispensette, BRAND, GERMANY)
- 1.17 เครื่องขัดผิววัสดุ (DPS 3200, Imptech, South Africa)
- 1.18 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, SpectrAA-300, Varian)

## 2. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

### 2.1 สารละลาย

2.1.1 สารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 ซึ่งเตรียมโดยส่วนผสมของกรดแลคติก 0.1 โมลาร์ (M) กรดโพธิ์อะคริลิกความเข้มข้น ร้อยละ 0.2 (Carbopol C907, B.F Goodrich company, USA) ไฮดรอกซีอะปาไทท์ (Bio-Gel<sup>®</sup> HTP Gel, Bio-Rad, Hercules, CA) อิมิตัวความเข้มข้นร้อยละ 50 และโซเดียมเอไซด์ (NaN<sub>3</sub>) 35.697 มิลลิโมลาร์ (mM) (White, 1987)

2.1.2 สารละลายสำหรับทำให้เกิดการฟื้นกลับแร่ธาตุ (Remineralization solution) เป็นน้ำลายเทียมซึ่งเตรียมโดยมีส่วนผสมของมิวซินจากกระเพาะหมู (Mucin Type II : Porcine Stomach, Sigma) 2.2 กรัมต่อลิตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 5.441 มิลลิโมลาร์ แคลเซียม คลอไรด์ไดไฮเดรต (CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) 1.449 มิลลิโมลาร์ โปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 5.423 มิลลิโมลาร์ โปตัสเซียมคลอไรด์ (KCl) 14.943 มิลลิโมลาร์ และโซเดียมเอไซด์ 35.697 มิลลิโมลาร์

2.1.3 สารละลายแลนทานัมคลอไรด์ (LaCl<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 เตรียมในกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) ความเข้มข้นร้อยละ 10

2.2 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3 เรซินชนิดบ่มตัวเอง

2.4 กระดาษกาวชนิดไม่ละลายน้ำ และไม่ดูดซับน้ำ  
(3M Scotch<sup>®</sup> Brand Tape, St Paul, USA)

2.5 ลวดไร้สนิม (Ligature wire)

## 2.6 วัสดุบูรณะชนิดผสมฟลูออไรด์และไม่ผสมฟลูออไรด์ ดังต่อไปนี้

Type	Brand	Manufacturer	Batch no.
Resin-modified glass ionomer	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	GC Int., Tokyo, Japan	0103276
Polyacid-modified resin composite	Compoglass <sup>®</sup> Flow	Vivadent, Schaan, Liechtenstein	D00231
Fluoride containing resin composite	Heliomolar <sup>®</sup>	Vivadent, Schaan, Liechtenstein	D52398
Non-fluoride containing resin composite	Z 250 <sup>®</sup>	3M, U.S.A.	20020620

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 1. การเตรียมชิ้นฟัน

##### 1.1 ทำความสะอาดฟัน

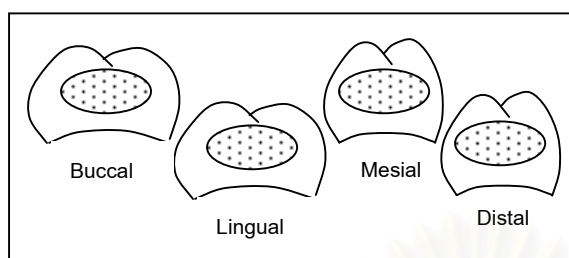
นำฟันตัวอย่างมาล้างคราบเลือด น้ำลาย และขูดเศษเนื้อเยื่อรอบรากฟันให้สะอาด แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 เก็บในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

##### 1.2 การตัดฟัน

นำฟันมาตัดผิวเคลือบฟันด้านใกล้กลาง ด้านไกลกลาง ด้านใกล้แก้ม หรือด้านใกล้ลิ้นด้วยเครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรชนิดความเร็วต่ำ ให้ได้ผิวเคลือบฟันในแนวระนาบ (ภาพที่ 9) จากนั้นตัดให้ชิ้นฟันมีขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร (ภาพที่ 10) เก็บชิ้นฟันที่ได้ไว้ในภาชนะพลาสติกปิดที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

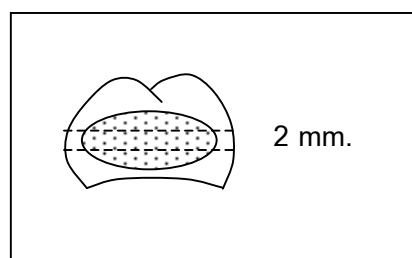
นำชิ้นฟันขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตรที่ได้ วางลงในแบบพิมพ์พลาสติกสี่เหลี่ยมขนาด กว้างXยาวXสูงเท่ากับ 12.5x19x8 มิลลิเมตร ให้ผิวเคลือบฟันสัมผัสและขนานกับฐานพิมพ์

พลาสติกมากที่สุด จากนั้นผสมเรซินชนิดป่มตัวเองเทลงในแบบพิมพ์พลาสติก รอจนเรซินแข็งตัว จึงแกะออกจากแบบพิมพ์



ภาพที่ 9

การตัดผิวเคลือบฟัน



ภาพที่ 10

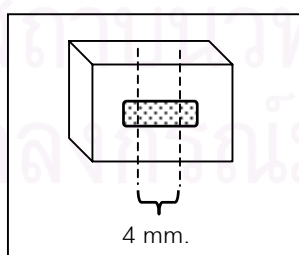
การตัดชิ้นฟันขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร

### 1.3 การขัดชิ้นตัวอย่าง

นำชิ้นฟันในเรซินมาขัดด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 800 และ 1,000 กริท ตามลำดับ ด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที ขัดจนกระทั่งผิวฟันเรียบ เป็นระนาบเดียวกัน ขั้นสุดท้ายนำชิ้นฟันมาขัดด้วยผ้าสักหลาดและผงขัดแกมมาอลูมินา (Gamma Alumina) ขนาด 0.05 ไมโครเมตร นานประมาณ 10 นาทีจนกระทั่งผิวเคลือบฟันเรียบเป็นมัน

### 1.4 การตัดชิ้นตัวอย่าง

นำชิ้นฟันบนฐานเรซินมาตัดด้วยเครื่องตัดฟันใบเลื่อยเพชรความเร็วต่ำ ให้ได้ชิ้นฟันที่มีความยาว 4 มิลลิเมตร (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11

การตัดแบ่งชิ้นฟันในฐานเรซิน

### 1.5 การเลือกชิ้นฟัน

นำชิ้นฟันที่ได้มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อคัดเลือกชิ้นฟันที่มีรอยร้าว รอยแตก และ/หรือสีผิวเคลือบฟันไม่สม่ำเสมอออกไปจากการทดลอง

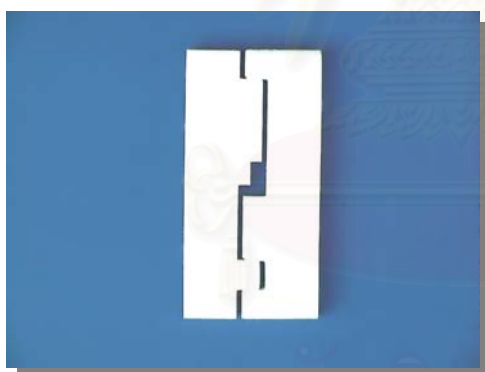
## 1.6 การเคลือบผิวขึ้นฟัน

นำกระดาษขาวขนาด 2x4 มิลลิเมตร ติดลงบนผิวเคลือบฟันด้านหน้าตัด 2x4 มิลลิเมตร ใช้เบอร์นิชเซอร์ชนิดปลายกลมรีดกระดาษขาวให้แนบสนิทกับผิวเคลือบฟัน ระบายน้ำยาทาเล็บลงบนผิวฟันทุกด้าน เมื่อน้ำยาทาเล็บแห้งซึ่งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ระบายน้ำยาทาเล็บซ้ำอีกครั้ง ตรวจสอบผิวขึ้นฟันโดยรอบหากมีส่วนของผิวฟันที่ไม่มีน้ำยาทาเล็บเคลือบจะระบายน้ำยาทาเล็บซ้ำ เมื่อขึ้นฟันแห้งจึงลอกกระดาษที่ปิดผิวเคลือบฟันออก เก็บขึ้นฟันที่ได้ในภาชนะพลาสติกปิดที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

## 2. การเตรียมขึ้นวัสดุบูรณะฟัน

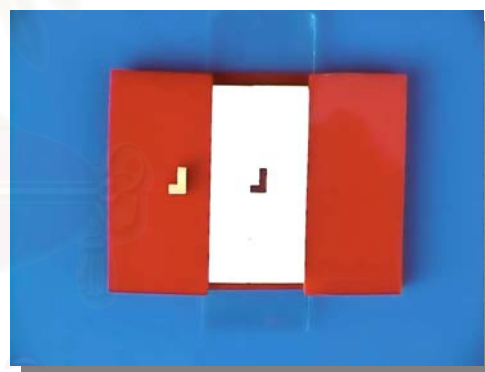
### 2.1 การเตรียมแบบพิมพ์สำหรับวัสดุบูรณะฟัน

เตรียมแบบพิมพ์เทฟลอน (Teflon) (ภาพที่ 12) ให้รูปทรงภายในมีขนาดดังในภาพที่ 14 (ภาคผนวก หน้า 88) พร้อมกรอบพลาสติกสำหรับบีบแบบพิมพ์ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12

แบบพิมพ์เทฟลอนสำหรับเตรียมวัสดุบูรณะฟัน



ภาพที่ 13

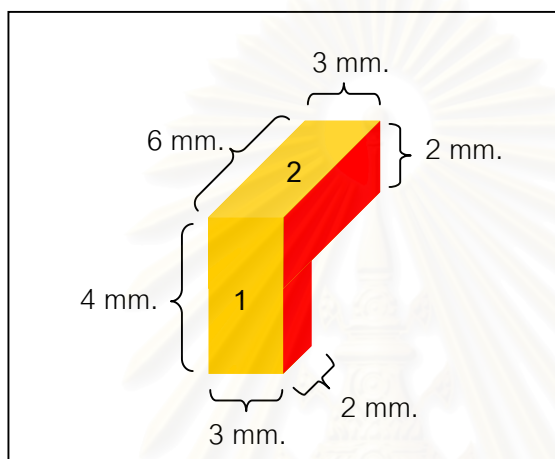
แบบพิมพ์เทฟลอนในกรอบพลาสติก

### 2.2 การเตรียมวัสดุบูรณะฟัน

เตรียมขึ้นวัสดุบูรณะฟัน 4 ชนิดได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> และเรซิน



คอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> ชนิดละ 15 ชิ้น โดยใส่วัสดุลงในแบบพิมพ์จนเต็ม ปาดผิวให้เรียบ ปิดด้วยแผ่นกระจกใส แล้วจึงบ่มด้วยแสงโดยใช้เครื่องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) ระยะเวลาและขั้นตอนการเตรียมวัสดุทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตวัสดุแต่ละชนิด จากนั้นนำชิ้นวัสดุออกจากแบบพิมพ์ เก็บไว้ในภาชนะพลาสติกปิดที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 14

รูปทรงและขนาดของวัสดุบูรณะ

### 2.3 การเตรียมพื้นที่ของชิ้นวัสดุบูรณะฟัน

นำกระดาษการูปสี่เหลี่ยมขนาด 3x4 และ 3x6 มิลลิเมตร ติดลงบนชิ้นวัสดุด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ภาพที่ 14) ใช้เบอร์นิชเซอร์ชนิดปลายกลม รีดกระดาษการูปให้แนบสนิทกับผิววัสดุ ระบายน้ำยาทาเล็บลงบนผิววัสดุทุกด้านที่เหลือ รอจนน้ำยาทาเล็บแห้ง ระบายน้ำยาทาเล็บซ้ำอีกครั้ง ตรวจสอบผิววัสดุโดยรอบหากบริเวณใดไม่มีน้ำยาทาเล็บเคลือบจะได้รับการระบายน้ำยาทาเล็บซ้ำ เมื่อชิ้นวัสดุแห้งจึงลอกกระดาษการูปที่ปิดผิววัสดุออก

### 3. การสร้างรอยโรคจุดขาว

นำชิ้นฟันมาแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ เพื่อทำให้เกิดรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟัน โดยแช่ชิ้นฟันในสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในขวดพลาสติกมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นฟันมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร แล้วเก็บชิ้นฟันในภาชนะพลาสติกปิดที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

#### 4. การเตรียมสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมเบื้องต้น (ก่อนการสัมผัสวัสดุ)

4.1 เก็บตัวอย่างสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 25 ไมโครลิตร ลงในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร โดยใช้ข้อโตะเมติกไปเปิดขนาด 100 ไมโครลิตร

4.2 เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 650 ไมโครลิตร ลงในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตรที่บรรจุสารละลายตัวอย่าง 25 ไมโครลิตร เพื่อเจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (เจือจางประมาณ 30 เท่า)

4.3 แบ่งสารจากขวดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร ปริมาตร 270 ไมโครลิตรใส่ขวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร จำนวน 2 ขวด เติมสารละลายแลนทานัมคลอไรด์และกรดไนตริกปริมาตร 30 ไมโครลิตรลงในขวดพลาสติกทั้งสอง ทำให้สารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของแลนทานัมร้อยละ 1 เพื่อกำจัดสารฟอสเฟตที่รบกวนต่อการวัดปริมาณแคลเซียม ป้องกันการตกตะกอนของสารละลาย และปรับสภาพสารละลายให้เหมาะสมกับการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

4.4 นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยปริมาณแคลเซียมของแต่ละชั้นพื้นได้จากการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมที่วัดได้จากขวดที่ 1 และ 2

#### 5. การจัดกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่กลุ่มทดลอง

จัดชั้นพื้นเข้าสู่กลุ่มทดลอง 3 กลุ่มและกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม เพื่อให้แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกัน โดยเรียงลำดับปริมาณแคลเซียมของชั้นพื้นทั้ง 60 ชั้นที่วัดได้ แล้วสุ่มตัวอย่างเข้าสู่กลุ่มทดลอง 3 กลุ่มและกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ตัวอย่าง จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของแต่ละกลุ่ม และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากรทั้ง 4 กลุ่มด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (One-Way ANOVA) ทุกกลุ่มจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกัน

## 6. การกำหนดหมายเลขประจำชั้นฟัน

กำหนดหมายเลขประจำชั้นฟันเรียงตามกลุ่ม ดังตารางที่ 4

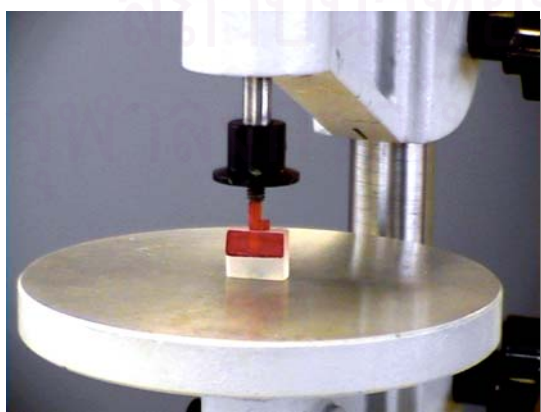
ตารางที่ 4 การกำหนดหมายเลขประจำชั้นฟัน

No.	Group	Material	Product
1-15	A	Resin-modified glass ionomer	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>
16-30	B	Polyacid-modified resin composite	Compoglass <sup>®</sup> Flow
31-45	C	Fluoride containing resin composite	Heliomolar <sup>®</sup>
46-60	D	Non-fluoride containing resin composite	Z 250 <sup>®</sup>

## 7. การจัดตำแหน่งชั้นฟันและวัสดุบูรณะ

จัดตำแหน่งชั้นฟันและวัสดุบูรณะให้อยู่ในตำแหน่งเลียนแบบการสัมผัสสบบริเวณด้านประชิดระหว่างฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองและฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งในช่องปาก โดยมีขั้นตอนดังนี้

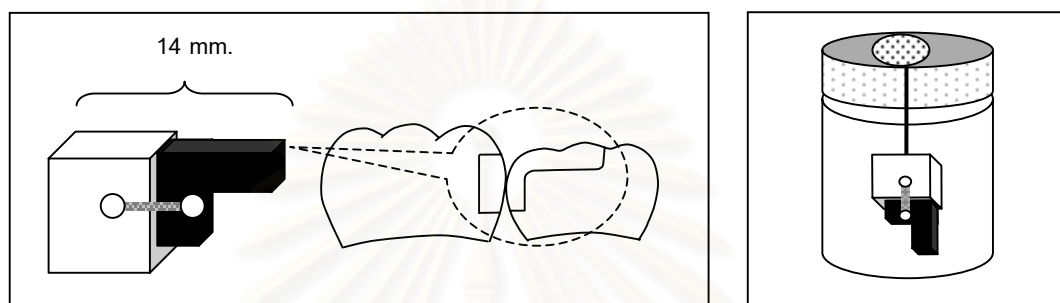
7.1 นำชั้นฟันและชั้นวัสดุอย่างละ 1 ชั้น วางให้ด้านหน้าตัด 2x4 มิลลิเมตรของชั้นฟันสัมผัสกับด้านหน้าตัด 3x4 มิลลิเมตรของชั้นวัสดุ ใช้เครื่องวัดความแข็งของวัสดุพร้อมตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมกดให้ชั้นฟันและชั้นวัสดุแนบสนิทกัน (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15

การใช้เครื่องวัดความแข็งของวัสดุ  
พร้อมตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม  
กดให้ชั้นฟันและชั้นวัสดุแนบสนิทกัน

7.2 ยึดชิ้นฟันและวัสดุให้ติดกันด้วยลวดไร้สนิมและเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> จากนั้นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดอีกครั้งให้มีความยาวของชิ้นฟันและวัสดุรวมกันเท่ากับ 14 มิลลิเมตร แล้วยึดชิ้นทดลอง (ฟัน + วัสดุ) ให้ติดกับฝาขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร โดยเมื่อปิดฝาขวดแล้วชิ้นทดลองจะต้องไม่สัมผัสกับด้านใดๆ ของขวดพลาสติก (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16

การจัดตำแหน่งผิวเคลือบฟันและวัสดุเลียนแบบการสัมผัสบริเวณด้านประชิดระหว่างฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองและฟันกรามถาวรซี่หนึ่งในช่องปาก

## 8. รูปแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลองเป็นการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปาก โดยให้ชิ้นทดลองแช่อยู่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ (pH = 5.0) เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง เพื่อจำลองช่วงสภาวะความเป็นกรด-ด่างในคราบจุลินทรีย์ที่ลดต่ำลงภายหลังการรับประทานอาหาร ส่วนช่วงเวลาที่เหลือแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผ่นกลับแร่ธาตุหรือสารละลายน้ำลายเทียม โดยรูปแบบการทดลองในแต่ละวันสรุปได้ดังตารางที่ 5 (ดัดแปลงจาก ten Cate, Buijs และ Damen, 1995)

ตารางที่ 5      ขั้นตอนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลง  
ความเป็นกรด-ด่าง (pH cycle) ภายในช่องปาก

ช่วงที่	เวลา	ระยะเวลา	ขั้นตอนทดลอง
1	08.00 – 08.30	30 นาที	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
2	08.30 – 10.30	2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		5 นาที	แช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 7 มิลลิลิตร
2	10.30 – 11.00	30 นาที	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
3	11.00 – 13.00	~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		5 นาที	แช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 7 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
3	13.00 – 13.30	30 นาที	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
4	13.30 – 15.30	~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		5 นาที	แช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 7 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
4	15.30 – 16.00	30 นาที	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
5	16.00 – 18.00	~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		5 นาที	แช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 7 มิลลิลิตร
		2 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
5	18.00 – 18.30	30 นาที	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 3 มิลลิลิตร
		~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		13.5 ชั่วโมง	แช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุปริมาตร 5 มิลลิลิตร
5	18.30 – 08.00	~30 วินาที	ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตร
		5 นาที	แช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 7 มิลลิลิตร

หมายเหตุ : ในวันแรกของการทดลอง จะเริ่มแช่ขึ้นทดลองในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผกผันแร่ธาตุเป็นเวลา 60 นาทีก่อนเริ่มการทดลองเพื่อให้เกิดเพลลิเคิล (Pellicle) บนผิวฟัน (Thylstrup และ Fejerskov, 1994b; Skjorland, Rykke และ Sonju, 1995)

### รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. แช่ชิ้นทดลองในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ

แช่ชิ้นทดลองในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2. ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน

นำชิ้นพินขึ้นจากสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยใช้ดิสเพนเซอร์ขนาด 25-100 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ติดค้างอยู่ที่ผิวชิ้นทดลองออก จากนั้นซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู (Tissue paper)

3. แช่ชิ้นพินในน้ำปราศจากไอออน

แช่ชิ้นพินในขวดใส่น้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร และวางอยู่บนเครื่องเขย่าซึ่งเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสารละลายที่ยังอาจติดค้างอยู่ที่ผิวพินออก

4. แช่ชิ้นทดลองในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุ

แช่ชิ้นทดลองในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุ ปริมาตร 5 หรือ 7 มิลลิลิตรแล้วแต่ช่วงการทดลอง ซึ่งสารละลายถูกบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร และวางอยู่บนเครื่องเขย่า ปรับให้เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ในแต่ละวันขึ้นทดลองทั้ง 60 ชิ้นจะถูกแช่ในสารละลายต่าง ๆ ดังตารางที่ 5 จนครบ และเนื่องจากศึกษาของ Holmen, Thylstrup และ Årtun (1987) พบว่าหลังจากที่รอยโรคจุดขาวสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรดหรือสภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดฟันผุ ความเป็นกรด-ด่างบริเวณชั้นในของรอยโรคจุดขาวจะกลับสู่ระดับความเป็นกลางได้ ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 3 อาทิตย์ จึงกำหนดระยะเวลาในการแช่ชิ้นทดลองในการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในช่องปากเท่ากับ 30 วัน



## 9. การเก็บสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (หลังการสัมผัสวัสดุ)

9.1 ภายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการทดลองเลียนแบบสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากเป็นเวลา 30 วัน ทำการแยกชิ้นวัสดุออกจากชิ้นฟัน ล้างชิ้นฟันด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ชิ้นฟันในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำชิ้นฟันมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตรอีกครั้ง แล้วซับแห้งด้วยกระดาษทิชชู

9.2 นำชิ้นฟันทุกชิ้นมาแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 25 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในขวดพลาสติกมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

9.3 เก็บและเตรียมตัวอย่างสารละลายเพื่อนำไปวัดปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการเตรียมสารละลายก่อนการสัมผัสวัสดุ ในข้อ 4 (การเตรียมสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมเบื้องต้น หน้า 46)

9.4 วัดปริมาณแคลเซียมในสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยปริมาณแคลเซียมของแต่ละชิ้นฟันได้จากการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมที่วัดได้จากขวดที่ 1 และ 2

## การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) การวัดการกระจาย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

2. วิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสกับวัสดุบูรณะระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมที่ละคู่ โดย

3.1 เมื่อทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ จะวิเคราะห์ด้วยสถิติ Unpaired t-Test

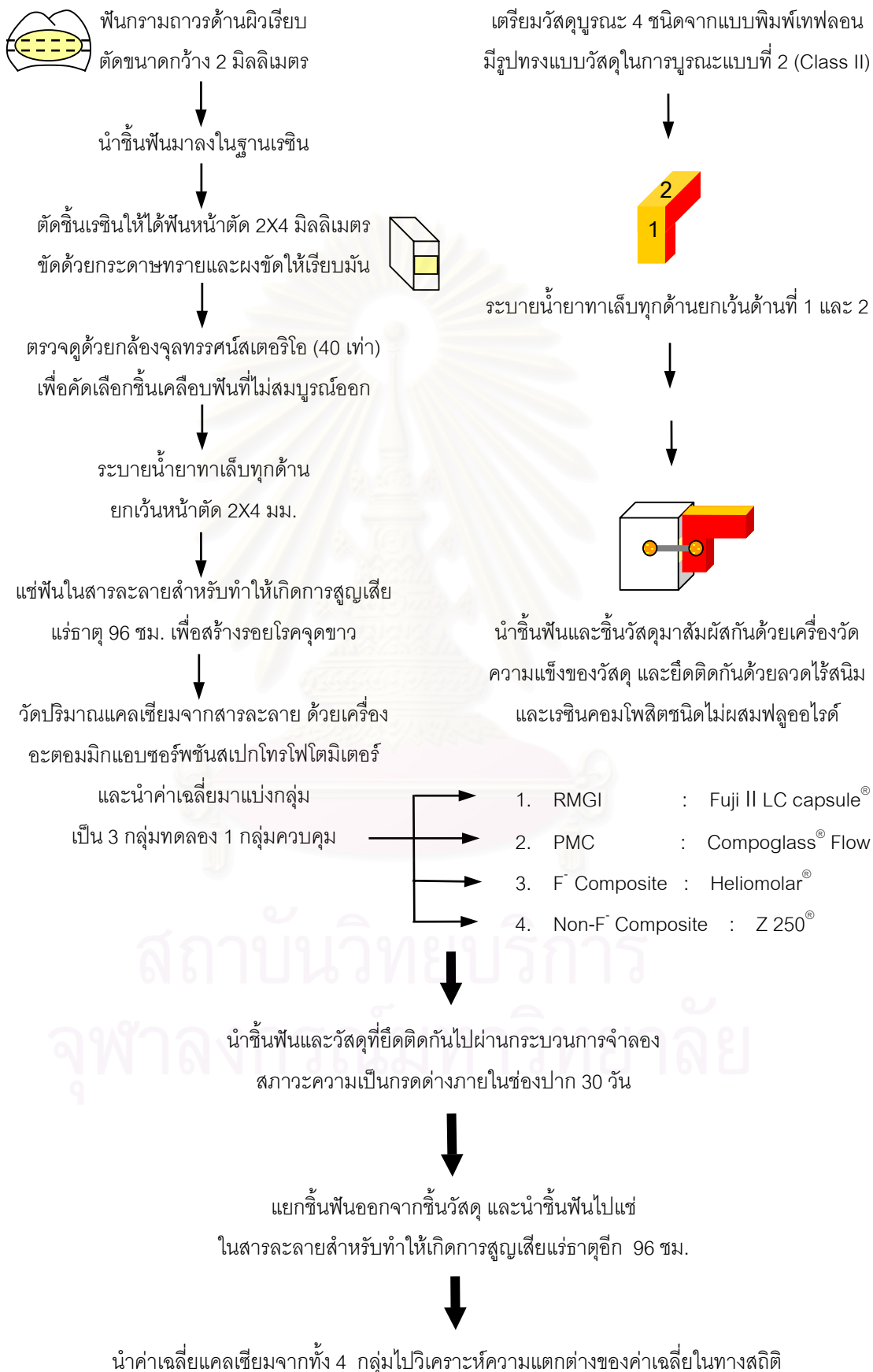
3.2 เมื่อกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 1 กลุ่มมีการแจกแจงไม่ปกติ จะวิเคราะห์ด้วยสถิติแมนนวิทนีย์ (Mann Whitney U-test)

3. วิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสกับวัสดุบูรณะในระหว่างกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม

3.1 เมื่อทุกกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ และและค่าความแปรปรวนของข้อมูลจากแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน จะวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (One-Way ANOVA)

3.2 เมื่อกลุ่มทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มมีการแจกแจงไม่ปกติ หรือความแปรปรวนของข้อมูลจากแต่ละกลุ่มแตกต่างกันจะวิเคราะห์ด้วยสถิติครุคัล-วัลลิส (Kruskal – Wallis H Test)

## แผนภูมิสรุปวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมที่ได้จากแซ่ขึ้นฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุเป็นเวลา 96 ชั่วโมงในขั้นตอนการสร้างรอยโรคจุดขาวของเคลือบฟัน (ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมเบื้องต้น) มาใช้ในการแบ่งกลุ่มขึ้นฟันเป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม และ กลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม ตามชนิดของวัสดุที่ขึ้นฟันจะสัมผัส จะได้ ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 4 กลุ่มมีค่าเท่ากับ  $69.15 \pm 37.63$ ,  $67.80 \pm 36.39$ ,  $67.77 \pm 36.35$  และ  $70.14 \pm 39.85$  ไมโครโมลต่อตารางเซนติเมตร ( $\mu\text{mole}/\text{cm}^2$ ) ตามลำดับ และการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของทุกกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติ ค่าความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน จึงทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียวที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) ปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.998$ )

ภายหลังการจัดตำแหน่งสัมผัสของขึ้นฟันกับขึ้นวัสดุ ตลอดจนผ่านการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่าง 30 วัน และขึ้นฟันถูกนำมาแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุอีกครั้งเป็นเวลา 96 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมที่ได้จากสารละลายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่มเรียงจากน้อยไปมากคือ กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> ( $220.32 \pm 2.51 \mu\text{mole}/\text{cm}^2$ ) กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow ( $221.18 \pm 2.55 \mu\text{mole}/\text{cm}^2$ ) กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> ( $224.05 \pm 2.36 \mu\text{mole}/\text{cm}^2$ ) และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> ( $224.41 \pm 4.34 \mu\text{mole}/\text{cm}^2$ ) (ตารางที่ 6)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของชิ้นฟันหลังจากสัมผัสกับวัสดุมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมที่ละคู่ พบว่ากลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> มีการกระจายของข้อมูลไม่เป็นปกติ ดังนั้นจึงใช้สถิติแมนนวิทนีย์ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมระหว่างแต่ละกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมที่ละคู่ ซึ่งพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow แตกต่างจากกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่ 6)

ในการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสกับวัสดุบูรณะระหว่างกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม แม้ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของวัสดุในกลุ่มทดลองทั้ง 3 ชนิดพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่จากการที่ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> มีการกระจายของข้อมูลไม่เป็นปกติ จึงใช้สถิติครุสคัล-วัลลิสในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมอย่างน้อย 1 คู่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จึงใช้สถิติแมนนวิทนีย์ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมระหว่างกลุ่มทดลองแต่ละคู่ต่อไป ผลพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow แตกต่างจากกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่ 6)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นฟัน  
หลังจากการสัมผัสวัสดุ

กลุ่มวัสดุ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียม ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\mu\text{mole}/\text{cm}^2$ )
กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน ผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	15	220.32 ± 2.51 <sup>a c</sup>
เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด ผลิตภัณฑ์ Compoglass <sup>®</sup> Flow	15	221.18 ± 2.55 <sup>b d</sup>
เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ ผลิตภัณฑ์ Heliomolar <sup>®</sup>	15	224.05 ± 2.36 <sup>c d</sup>
เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ผลิตภัณฑ์ Z 250 <sup>®</sup>	15	224.41 ± 4.34 <sup>a b</sup>

หมายเหตุ กลุ่มตัวเลขที่เชื่อมด้วยเส้นตรงเดียวกันแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.05$ ) และกลุ่มตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับ  
เป็นอักษรเดียวกันมีความหมายดังต่อไปนี้

a : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ  $P = 0.003$

b : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ  $P = 0.035$

c : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ  $P = 0.001$

d : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ  $P = 0.006$



## บทที่ 5

### อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ ได้แก่ กلاسไอโอไอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ กับวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ คือ เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะเหล่านี้ในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบผลต่อการสูญเสียแร่ธาตุดังกล่าวในระหว่างวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดด้วยการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมที่วัดได้จากสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุภายหลังการแช่ฟันไว้นาน 96 ชั่วโมง หลังจากการรอยโรคจุดขาวบนเคลือบฟันนั้นได้สัมผัสกับวัสดุบูรณะฟัน 4 ชนิดและผ่านกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นเวลา 30 วันแล้ว

การวัดการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุของเคลือบฟันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวัดปริมาณแร่ธาตุของรอยโรคโดยตรง เช่น ไมโครเรดิโอกราฟ (Microradiograph) การวัดปริมาณแร่ธาตุทางอ้อม เช่น การวัดความแข็งผิว (Surface microhardness) หรือการตรวจดูความลึกของรอยโรคด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์ (Polarized microscope) เป็นต้น อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีมีทั้งข้อดี ข้อด้อย และข้อจำกัดในการเลือกใช้ที่แตกต่างกันไป เช่น ไมโครเรดิโอกราฟและการใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดโพลาไรซ์จำเป็นต้องมีอุปกรณ์และโปรแกรมเฉพาะในการตรวจวัดปริมาณแร่ธาตุหรือความลึกของรอยโรคที่มีประสิทธิภาพสูง การเตรียมชิ้นฟันสำหรับการตรวจด้วยกล้องโพลาไรซ์ค่อนข้างยุ่งยาก การวัดความแข็งผิวควรใช้ในการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งผิวที่ชัดเจน จึงมักใช้ในการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูง เป็นต้น สำหรับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุจากสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรีเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำดี มีสภาพไวสูง ประหยัดค่าใช้จ่าย วิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว (แมนอมรสิทธิ์, 2539) สามารถวัดปริมาณแร่ธาตุได้ถึงในระดับความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน วิธีการ

วิเคราะห์ธาตุชนิดนี้จัดเป็นการวัดการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุโดยทางอ้อม เนื่องจากไม่ได้ทำการวัดที่รอยโรคในชั้นเคลือบฟันโดยตรง จากการที่แคลเซียมเป็นแร่ธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักของเคลือบฟัน ในกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุและผันกลับแร่ธาตุจะเกิดการผ่านเข้าออกของแคลเซียมจากชั้นเคลือบฟันกับสารละลายอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงสภาวะความสมบูรณ์ของเคลือบฟัน ในสภาวะแวดล้อมปิดจะพบแคลเซียมได้ในรูปส่วนประกอบของผลึกอะปาไทท์ (Solid phase) หรือแคลเซียมไอออนในสารละลาย (Liquid phase) ดังนั้นการวัดปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในสารละลายจึงเป็นการบ่งบอกทางอ้อมถึงปริมาณแคลเซียมในเคลือบฟัน

ในขั้นตอนการสร้างรอยโรคจุดขาวด้วยการแช่ชั้นเคลือบฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุเป็นเวลา 96 ชั่วโมงนั้น สารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุชนิดนี้ มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดแลคติก 0.1 โมลาร์ กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และไฮดรอกซีอะปาไทท์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 ซึ่งจากการศึกษาของ White (1987) พบว่า จะทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุในบริเวณใต้ผิวเคลือบฟัน โดยที่ชั้นผิวนอกไม่ถูกกัดกร่อนไป (Erosion) ทำให้เกิดรอยบุ๋มจาลองที่ใกล้เคียงกับรอยบุ๋มแรกหรือรอยโรคจุดขาวตามธรรมชาติ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้ จะนำสารละลายไปทำการวัดปริมาณแคลเซียมเบื้องต้นเพื่อจัดเป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่มและกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม ให้ทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมเบื้องต้นเท่าๆกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ทุกกลุ่มประกอบด้วยชั้นเคลือบฟันที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกรณีที่เคลือบฟันผ่านการแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุแล้วให้ค่าปริมาณแคลเซียมออกมาใกล้เคียงกัน แสดงว่าองค์ประกอบของเคลือบฟันนั้นๆน่าจะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุใกล้เคียงกันเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และจากการที่ปฏิกิริยาการสูญเสียแร่ธาตุเป็นปฏิกิริยาที่คล้ายกับการย้อนกลับของปฏิกิริยาการผันกลับแร่ธาตุ (Chow และ Vogel, 2001) เคลือบฟันดังกล่าวจึงน่าจะเกิดปฏิกิริยาการผันกลับแร่ธาตุเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่สนับสนุนให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุใกล้เคียงกันด้วย

ชั้นเคลือบฟันที่ผ่านกระบวนการสร้างรอยโรคจุดขาวแล้ว จะถูกนำมาสัมผัสกับวัสดุบูรณะ ซึ่งเป็นการจัดตำแหน่งสัมผัสเลียนแบบด้านประชิดระหว่างรอยโรคจุดขาวบนเคลือบฟันของฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งกับวัสดุบูรณะด้านประชิดของฟันกรามน้ำนมซี่ที่สอง โดยนำเครื่องวัดความแข็งของวัสดุพร้อมตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมมาประยุกต์ใช้เป็นตัวกดให้ชั้นวัสดุและชั้นเคลือบฟันแนบสนิทกัน ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งและระยะเวลาการสัมผัสของทุกชั้นทดลองให้เท่ากันได้ และเป็นตำแหน่งที่สะดวกต่อการยึดติดได้อย่างสมบูรณ์ โดยน้ำหนักที่ใช้กดประมาณ 1.712 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ( $N/mm^2$ , MPa) นั้น ไม่น่าจะมีผลต่อความแข็งแรงและโครงสร้าง

ของวัสดุและชั้นเคลือบฟัน เนื่องจากวัสดุทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในงานวิจัยรวมทั้งชั้นเคลือบฟันมีคุณสมบัติในการรับแรงเค้นอัด (Compressive stress) ได้มากกว่าแรงที่ใส่กดมาก (Ivoclar Vivadent AG, 1998, 2001; Akashi และคณะ, 1999; 3 M Dental Products Laboratory, 1998)

เมื่อนำชั้นฟันและวัสดุไปแช่ในสารละลายต่างๆ ในกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปาก ฟลูออไรด์ไอออนจะซึมผ่านจากวัสดุออกสู่สารละลาย ซึ่งกลไกการปลดปล่อยฟลูออไรด์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นองค์ประกอบของวัสดุ การดูดซึมน้ำของวัสดุ สภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย องค์ประกอบของสารละลาย เป็นต้น หากพิจารณาถึงความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากวัสดุโดยควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้เหมือนกันแล้ว จากหลายการศึกษา (Aboush, Torabzaden, และ Lee, 1995; Bala และคณะ, 1997; Berg, 1998; Preston และคณะ, 1999) พบว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกจากวัสดุเรียงตามลำดับมากไปน้อยได้แก่ แกสไฮโอไอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด และเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์พบว่าไม่มีการปล่อยฟลูออไรด์

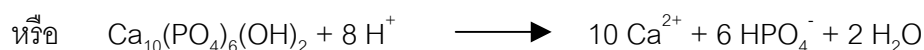
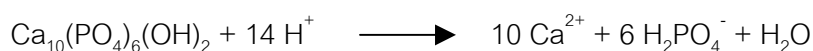
การแช่ฟันและวัสดุในสารละลายต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ อาจเทียบได้กับการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากในชีวิตประจำวัน ดังตารางที่ 7 ซึ่งเป็นการแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ 30 นาที สลับกับการแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการฟื้นกลับแร่ธาตุ 2 ชั่วโมง ซึ่งจะคล้ายกับสภาวะในช่องปากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงหลังจากการรับประทานอาหารมื้อต่างๆ สลับกับการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้นจากกลไกของน้ำลาย ซึ่งน่าจะทำให้ชั้นเคลือบฟันเกิดการสูญเสียแร่ธาตุและการฟื้นกลับแร่ธาตุคล้ายกับในช่องปากมากกว่าการจำลองสภาวะความเป็นกรด-ด่างแบบดั้งเดิม (Conventional pH cycle) ซึ่งเป็นการแช่ชั้นฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง และแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการฟื้นกลับแร่ธาตุต่อเนื่อง 16 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

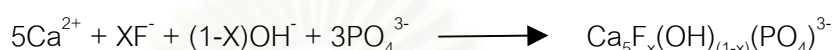
ตารางที่ 7 กลไกการสูญเสียแร่ธาตุและการผันกลับแร่ธาตุเปรียบเทียบขั้นตอน  
ในห้องปฏิบัติการกับสภาวะภายในช่องปาก

ขั้นตอนที่	ขั้นตอนการทดลอง	เปรียบเทียบกับสภาวะภายในช่องปาก	กลไก
1	การแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (pH = 5) (5 ครั้ง/วัน ครั้งละ 30 นาที)	การที่ฟันอยู่ในช่องปากที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของแบคทีเรีย (5 ครั้ง/วัน = มื้อหลักเช้า, อาหารว่างเช้า, มื้อหลักกลางวัน, อาหารว่างบ่าย, มื้อหลักเย็น)	คาร์บอนเนตอะปาไทท์และไฮดรอกซีอะปาไทท์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเคลือบฟันจะถูกละลายออกมาบางส่วน ทำให้มีแคลเซียม ไอออน และฟอสเฟตไอออน ออกมาอยู่ในสารละลายรอบๆตัวฟัน ร่วมกับฟลูออไรด์ ไอออนจากวัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้
2	การแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุ	การที่ฟันอยู่ในน้ำลายในสภาพช่องปากที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง	สารละลายน้ำลายเต็มรอบผิวฟันที่มีความอึดตัวของแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม และฟอสเฟต ร่วมกับฟลูออไรด์ไอออนจากวัสดุบูรณะที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ส่งเสริมให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน

เมื่อนำชิ้นฟันและวัสดุมาแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ไฮโดรเจนไอออนจากกรดแลคติกในสารละลายจะแพร่เข้าสู่รูพรุนของเคลือบฟัน ทำให้เกิดการละลายของผลึกคาร์บอนเนตอะปาไทท์ หรือไฮดรอกซีอะปาไทท์ เกิดการซึมผ่านของแร่ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเคลือบฟันออกมาสู่สารละลาย ซึ่งการละลายของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทท์แสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้ (Gray, 1962; Chow และ Vogel, 2001)



ในสภาวะที่มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ อัตราการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันจะลดลงเนื่องจากฟลูออไรด์ไอออนจะแพร่เข้าสู่รูพรุนของเคลือบฟันพร้อมกับไฮโดรเจนไอออน ทำให้ผลึกของเคลือบฟันที่ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนมีน้อยลง (Featherstone, 1977) ร่วมกับแคลเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออนที่ถูกละลายออกมาจากผลึกอะพาไทท์จะจับกับฟลูออไรด์ไอออน ทำให้สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวดด้วยฟลูออราอะพาไทท์ หรือฟลูออริเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ เกิดการตกตะกอนที่ผลึกของผิวเคลือบฟัน ดังสมการ (Margolis และ Moreno, 1990; Moreno, 1993; ten Cate, 1997)



โดย X คือค่าการแทนที่ของฟลูออไรด์

ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่จากฟลูออราอะพาไทท์และฟลูออริเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ซึ่งมีองค์ประกอบของฟลูออไรด์มากขึ้นจะทนต่อการละลายต่อกรดได้ดีกว่าผลึกไฮดรอกซีอะพาไทท์เดิม (Moreno และคณะ, 1977; Driessens, 1982; Legeros และคณะ, 1983; Larsen และ Jensen, 1989; ten Cate และ Featherstone, 1991; Tanaka และคณะ, 1993; Takagi และคณะ, 2000) และการสะสมของอะพาไทท์เหล่านี้ที่ผิวเคลือบฟันจะทำให้รูพรุนของผิวเคลือบฟันมีขนาดเล็กลง จำนวนลดลง ไฮโดรเจนไอออนหรือกรดซึมผ่านเข้าไปได้ลดลง ทำให้สามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีขึ้นเมื่อเคลือบฟันสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดอีกในภายหลัง

อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปแน่ชัดว่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์เท่าใดที่สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของแร่ธาตุหรือโปรตีนในสารละลาย ปริมาณแร่ธาตุในสารละลาย และสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เป็นต้น (ten Cate และ Duijsters, 1983b) แต่จากการศึกษาหลายการศึกษาให้ข้อสรุปว่าในสารละลายที่มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำร่วมกับแร่ธาตุที่จำเป็น ได้แก่ แคลเซียม และฟอสเฟต สามารถลดอัตราการละลายของเคลือบฟันลงได้แม้ในสภาวะที่เป็นกรด (Borsboom, Van der Mei และ Arends, 1985; Margolis และคณะ, 1986; Larsen, 1990) และนอกจากนี้ การศึกษาดังกล่าวข้างต้นยังแสดงให้เห็นว่าหากเพิ่มความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในสารละลายจะทำให้อัตราการสูญเสียแร่ธาตุลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอัตราการละลายของเคลือบฟันลดลง เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น (Arends และคณะ, 1983; ten Cate และ Duijsters, 1983a, 1983b; Margolis และคณะ, 1986; Featherstone และคณะ, 1990)



การแช่ฟันในน้ำลายเทียมหรือสารละลายสำหรับทำให้เกิดการผันกลับแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 จะมีแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และฟอสเฟตไอออนซึ่งอยู่ในรูปของ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (Larsen, 1986) อยู่มากกว่าของเหลวในรูพรุนของเคลือบฟัน ความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออน (Concentration gradient) ระหว่างสารละลายที่อยู่รอบนอกผิวเคลือบฟันและของเหลวที่อยู่ในรูพรุนของเคลือบฟันนี้ ทำให้แคลเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออนในสารละลายเกิดการแพร่กลับเข้าไปในเคลือบฟัน (Driessen และ Verbeeck, 1981 อ้างถึงใน Chow และ Vogel, 2001; ten Cate และ Featherstone, 1991)

ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะแม้จะมีระดับต่ำแต่สามารถช่วยเร่งกระบวนการผันกลับแร่ธาตุได้ (Moreno, Kresak และ Zahradnik, 1977; Featherstone และคณะ, 1990) โดยผลึกของเคลือบฟันที่ถูกละลายไปบางส่วนจากการสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะกลายเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์ ฟลูออไรด์ไอออนซึ่งไปจับอยู่ที่ผลึกเหล่านี้จะดึงดูดให้แคลเซียมและฟอสเฟตเข้ามาตกตะกอน ประกอบกับในสารละลายที่มีฟลูออไรด์ แคลเซียมและฟอสเฟตที่อิ่มตัวยังยวด จะส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของฟลูออไรเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ และเร่งการตกตะกอนกลับของไฮดรอกซีอะพาไทท์บริเวณผิวของเคลือบฟัน (Koulourides, Cueto และ Pigman, 1961; Koulourides และ Reed, 1964; van den Hoek และคณะ, 1980; Featherstone และคณะ, 1990; ten Cate, 1990, 1997) และผลึกของฟลูออไรเดตไฮดรอกซีอะพาไทท์ที่เกิดขึ้นใหม่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม (Varughese และ Moreno, 1981) จากการทดลองของ Gibb และคณะ (1995) พบว่าฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.058 ส่วนในล้านส่วน สามารถสนับสนุนให้เกิดการผันกลับของแคลเซียมเข้าสู่รอยผุจำลองได้ และการผันกลับของแคลเซียมมากขึ้นตามความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เพิ่มขึ้น (Dose response) จนถึงระดับ 0.138 ส่วนในล้านส่วนซึ่งใช้ในการทดลอง

ในการศึกษานี้เมื่อขึ้นทดลองผ่านกระบวนการจำลองสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากครบ 30 วัน และแยกชิ้นวัสดุออกจากชิ้นฟัน จะแช่ชิ้นฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 เป็นเวลา 96 ชั่วโมงอีกครั้งหนึ่งหลังจากที่เคยแช่ในสารละลายเดียวกันนี้ก่อนการสัมผัสวัสดุเป็นเวลา 96 ชั่วโมงมาแล้ว ซึ่งรวมเวลาในการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุเท่ากับ 192 ชั่วโมง จากการศึกษาของ White (1987) พบว่ารอยโรคจุดขาวที่เกิดจากการแช่สารละลายชนิดนี้ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมงและ 240 ชั่วโมง ความลึกของรอยโรคอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันที่ความรุนแรงหรือปริมาณแร่ธาตุในรอยโรค โดยจะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุไปมากกว่าในรอยโรคที่แช่สารละลายนาน 240 ชั่วโมง ดังนั้นคาดว่าในการทดลองนี้ซึ่งแช่ฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุก่อนการ



สัมผัสวัสดุและหลังการสัมผัสวัสดุรวม 192 ชั่วโมง การสูญเสียแร่ธาตุในการแช่สารละลายภายหลังจากการสัมผัสวัสดุ น่าจะเกิดขึ้นในรอยโรคจุดขาวที่ความลึกระดับใกล้เคียงกับของรอยโรคเดิม

จากผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมของชั้นเคลือบฟันภายหลังจากการสัมผัสกับวัสดุทั้ง 4 กลุ่มมีค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้ กลุ่มผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> =  $220.32 \pm 2.51$  Compoglass<sup>®</sup> Flow =  $221.18 \pm 2.55$  Heliomolar<sup>®</sup> =  $224.05 \pm 2.36$  และ Z 250<sup>®</sup> =  $224.41 \pm 4.34$  ไมโครโมลต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งวัดได้มากกว่าปริมาณแคลเซียมเบื้องต้นก่อนการสัมผัสวัสดุซึ่งมีค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> =  $69.15 \pm 37.63$  Compoglass<sup>®</sup> Flow =  $67.80 \pm 36.39$  Heliomolar<sup>®</sup> =  $67.77 \pm 36.35$  และ Z 250<sup>®</sup> =  $70.14 \pm 39.85$  ไมโครโมลต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากในการแช่สารละลายให้เกิดการผ่นกลับแร่ธาตุในช่วงเวลา 30 วันของการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากนั้น อาจยังไม่เพียงพอต่อการผ่นกลับแร่ธาตุที่สมบูรณ์ดังเดิมของรอยโรคจุดขาว โครงสร้างของผิวเคลือบฟันยังคงมีรูพรุนที่เกิดจากแช่สารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุในการสร้างรอยโรคจุดขาว ทำให้เมื่อสัมผัสกรดอีกครั้งโครงสร้างที่ยังไม่สมบูรณ์และมีรูพรุนหลงเหลืออยู่มากจะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุได้มากกว่าเคลือบฟันปกติที่ยังไม่เกิดรอยผุ

ผลการศึกษาพบว่าหลังชั้นเคลือบฟันสัมผัสวัสดุ กลุ่มชั้นเคลือบฟันที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมเรียงจากน้อยไปมากได้แก่ กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> เรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกันกับลำดับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่วัสดุแต่ละชนิดสามารถปล่อยออกมาได้ (Bala และคณะ, 1997; Berg, 1998; Cattani-Lorente และคณะ, 1999; Galvan และคณะ, 2000; Karantakis และคณะ, 2000; Helvatjoglu-Antoniades และคณะ, 2001) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าในระหว่างเวลา 30 วันของการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปาก ชั้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้มากกว่า จะเกิดการผ่นกลับของแร่ธาตุที่มากกว่าการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่า ทำให้เมื่อทำการทดลองครบ 30 วัน รอยโรคที่เกิดการผ่นกลับแร่ธาตุจะมีองค์ประกอบของผลึกที่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์มากกว่าเดิม คือมีสัดส่วนของฟลูออราพาไทท์และฟลูออริเดไฮดรอกซีอะพาไทท์ต่อไฮดรอกซีอะพาไทท์มากขึ้น ทำให้เมื่อแช่ในสารละลายสำหรับ

ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุอีกครั้ง เกิดการสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่ากลุ่มชั้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางสถิติในการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมของกลุ่มวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ 3 ชนิดซึ่งเป็นกลุ่มทดลองกับกลุ่มวัสดุบูรณะชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่ละคู่ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของกลุ่มวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow น้อยกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมจากกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากหลายการศึกษาพบว่าวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด เป็นวัสดุที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ในความเข้มข้นต่ำระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) ได้อย่างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน (Suljak และ Hatabovic-Kofman, 1996; Grobler และคณะ, 1998; Williams, Billington และ Pearson, 2001) ในขณะที่เรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาค่อนข้างต่ำมาก (Momoi และ McCabe, 1993; Galvan และคณะ, 2000) ใกล้เคียงกับเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ซึ่งไม่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์เลย (Takahashi และคณะ, 1993; Preston และคณะ, 1999; Yap และคณะ, 1999) ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 30 วันของการแช่ในสารละลายต่างๆเพื่อจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปาก ในสารละลายที่แช่วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดจะมีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำอยู่อย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุและส่งเสริมการผันกลับแร่ธาตุของเคลือบฟัน ในขณะที่สารละลายที่แช่วัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์มีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในระยะเวลานั้นๆ หลังจากนั้นจะแทบไม่มีฟลูออไรด์ในสารละลายเช่นเดียวกับกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Takahashi และคณะ (1993) ที่ได้ทำการศึกษากการปล่อยฟลูออไรด์ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 และ 5 อาทิตย์พบว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไม่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ และน้อยกว่ากระจกไอโอโนเมอร์และกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง ในการศึกษาของ Vermeersch และคณะ (2001) เปรียบเทียบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> กับผลิตภัณฑ์อื่นๆรวมทั้งวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วย

โพลีแอซิดในช่วงเวลา 91 วัน ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นฟลูออไรด์ต่อพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> น้อยกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

วัสดุบูรณะประเภทเรซินแต่ละชนิดมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้แตกต่างกันเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสารประกอบฟลูออไรด์ที่เติมเข้าไปเป็นส่วนประกอบของวัสดุ ความเข้มข้นของสารประกอบฟลูออไรด์ในเรซิน ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุ (Dijkman และคณะ, 1993) ค่าความเป็นกรด-ด่างและองค์ประกอบของสารละลายที่แช่วัสดุ เป็นต้น (Marom, 1985 อ้างถึงใน Preston และคณะ, 1999) การที่วัสดุบูรณะประเภทเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้น้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด น่าจะเนื่องมาจากการปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์เกิดจากเกลือฟลูออไรด์ที่เติมเข้าไปในส่วนประกอบของวัสดุเพียงอย่างเดียว โดยการปล่อยฟลูออไรด์เกิดขึ้นเมื่อวัสดุมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเรซินแมทริกซ์ (Resin matrix) จากนั้นฟลูออไรด์ไอออนจากเกลือฟลูออไรด์ที่ละลายน้ำได้จึงจะซึมผ่านรูพรุนของเรซินแมทริกซ์ออกมาสู่สารละลายภายนอก ซึ่งในผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> เกลือฟลูออไรด์ที่เติมเข้าไปคือ Ytterbium trifluoride มีปริมาณร้อยละ 10.6 ขององค์ประกอบทั้งหมด (Ivoclar Vivadent AG, 2001) ต่างกับกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินซึ่งมีการปล่อยฟลูออไรด์จากปฏิกิริยากรด-เบส และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดที่มีการปล่อยฟลูออไรด์จากปฏิกิริยากรด-เบสเมื่อวัสดุมีการดูดซึมน้ำ และจากเกลือฟลูออไรด์ที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งในผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow มี Ytterbium trifluoride เป็นส่วนประกอบอยู่ปริมาณร้อยละ 10 ขององค์ประกอบทั้งหมด นอกจากนี้เรซินแมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์มีความหนาแน่นมากกว่าและดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าเรซินแมทริกซ์ของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Meyer และคณะ, 1998) และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดมาก (Braden และ Clarke, 1984 อ้างถึงใน Preston และคณะ, 1999; Small และคณะ, 1998) ทำให้ความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกจากวัสดุชนิดนี้จึงอยู่ในระดับต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางสถิติในการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในระหว่างวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ทั้ง 3 ชนิดด้วยกันเองพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของกลุ่มขึ้นพื้นที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow มีค่าน้อยกว่ากลุ่มขึ้นพื้นที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่ปริมาณแคลเซียมของกลุ่มขึ้นพื้นที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> ไม่

แตกต่างจากกลุ่มวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดผลิตภัณท์ Compoglass® Flow อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเวลา 30 วันของวัสดุทั้งสองชนิดอยู่ในระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกัน จากการศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดของ Shaw และคณะ (1998) พบว่าในช่วงระยะเวลา 10 วันแรก วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลการศึกษาในระยะเวลา 40 วัน การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับผลจากการศึกษาของ de Araujo และคณะ (1996) ที่พบว่า การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดผลิตภัณท์ Dyract® หลังจาก 14 วันและ 28 วัน ไม่มีความแตกต่างกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณท์ Fuji II LC® อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากในระยะเวลาประมาณ 1 เดือนวัสดุทั้งสองชนิดสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้อย่างคงที่ในความเข้มข้นใกล้เคียงกัน (Williams และคณะ, 2001; Asmussen และ Peutzfeldt, 2002)

แม้ว่าจากหลายการศึกษาจะอ้างว่าความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีเอซิดน้อยกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินอย่างมีนัยสำคัญ (Bala และคณะ, 1997; Berg, 1998; Bertacchini และคณะ, 1999) แต่ไม่มีการศึกษาใดทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณท์ Fuji II LC capsule® และ Compoglass® Flow มีเพียงการศึกษาของผลิตภัณท์อื่นๆในกลุ่มเดียวกัน ได้แก่ การศึกษาของ Helvatjoglu-Antoniades และคณะ (2001) พบว่าในเวลา 112 วันความเข้มข้นฟลูออไรด์เฉลี่ยในน้ำกลั่นของผลิตภัณท์ Compoglass® F น้อยกว่าผลิตภัณท์ Fuji II LC® improved อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Yap และคณะ (1999) พบว่าในเวลา 35 วัน ความเข้มข้นของฟลูออไรด์เฉลี่ยในน้ำปราศจากไอออนที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณท์ Compoglass® มากกว่าผลิตภัณท์ Fuji II LC® ชนิดผสมมือแต่กลับน้อยกว่า Fuji II LC® capsule อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Bala และคณะ (1997) พบว่าแม้ในเวลา 90 วัน ความเข้มข้นฟลูออไรด์เฉลี่ยที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณท์ Compoglass® ที่แช่ในน้ำปราศจากไอออนน้อยกว่าผลิตภัณท์ Fuji II LC® แบบใช้มือผสม (Hand-mixed) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในระยะเวลา 30 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาเดียวกันกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากผลิตภัณท์ Compoglass® มีความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลิตภัณท์ Fuji II LC® แบบใช้มือผสม

Vermeersch และคณะ (2001) กล่าวว่า จะไม่สามารถจัดลำดับความเข้มข้นฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุแต่ละชนิดได้ นอกจากจะเปรียบเทียบผลิตภัณท์ที่มาจากบริษัท



เดียวกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของวัสดุแต่ละกลุ่มที่มาจากต่างบริษัทมีส่วนประกอบแตกต่างกันมาก (Yip และ Smales, 2000) Bertacchini และคณะ (1999) พบว่าวัสดุประเภทเดียวกันแต่เป็นผลิตภัณฑ์จากต่างบริษัทจะมีความหลากหลายและแตกต่างกันในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ประกอบกับผลจากศึกษาที่ยังคงขัดแย้งกัน จึงไม่สามารถสรุปความแตกต่างของฟลูออไรด์จากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Fuji II LC capsule<sup>®</sup> และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดผลิตภัณฑ์ Compoglass<sup>®</sup> Flow ได้

ผลของการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกันกับผลของงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีต ที่พบว่ารอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินและเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดสามารถลดหรือต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่ารอยโรคจุดขาวที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์หรือวัสดุอื่นที่ไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เช่น การศึกษาของ Segura และคณะ (1997) ซึ่งทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยแช่ชิ้นเคลือบฟันที่สัมผัสกับวัสดุไว้ในน้ำลายเทียมเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มรอยผุเริ่มแรกที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ผลิตภัณฑ์ Ketac-silver<sup>®</sup> มีขนาดของรอยโรคลดลงมากกว่ากลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุอมัลกัมชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Tytin<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Bynum และ Donly (1999) พบว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการระยะเวลา 2 สัปดาห์ ภายใต้การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในช่องปาก กลุ่มรอยผุเริ่มแรกที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ผลิตภัณฑ์ Ketac-fil<sup>®</sup> มีขนาดของรอยโรคลดลงมากกว่ากลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> และวัสดุอมัลกัมผลิตภัณฑ์ Tytin<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาทางคลินิกของ Donly และคณะ (1999) พบว่าในระยะเวลา 30 วัน กลุ่มรอยผุเริ่มแรกที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Vitremer<sup>®</sup> มีขนาดของรอยโรคลดลงมากกว่ากลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ P-50<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ผลิตภัณฑ์ Heliomolar<sup>®</sup> อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้อธิบายว่า ในการทดลองไม่น่าจะเกิดการผ่นกลับแร่ธาตุในรอยโรคที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่ำกว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินมาก

การศึกษาของ Jang และคณะ (2001) พบว่าในการแช่ชิ้นทดลองไว้ในน้ำลายเทียมเป็นเวลา 30 วัน กลุ่มรอยผุจำลองที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ผลิตภัณฑ์

Fuji IX GP<sup>®</sup> Ketac-molar<sup>®</sup> และกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Vitremer<sup>®</sup> มีขนาดของรอยโรคลดลงมากกว่ากลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ผลิตภัณฑ์ Z 250<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาของ Kotsanos และคณะ (2001) นำชิ้นฟันและวัสดุที่สัมผัสกันยึดติดกับพื้นปลอมของผู้ป่วยเป็นระยะเวลา 70 วัน กลุ่มรอยผุจำลองที่สัมผัสกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ ผลิตภัณฑ์ Fuji IX GP<sup>®</sup> และ Ketac-molar<sup>®</sup> กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินผลิตภัณฑ์ Vitremer<sup>®</sup> มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิด ผลิตภัณฑ์ F 2000<sup>®</sup> และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์ ผลิตภัณฑ์ Pertac II<sup>®</sup> อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาการนำไปใช้ในทางคลินิก การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในช่องปากและในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันในหลายปัจจัย เช่น การมีคราบจุลินทรีย์บนผิวเคลือบฟัน องค์ประกอบต่างๆของน้ำลาย สภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากซึ่งแตกต่างกันในแต่ละบุคคล เป็นต้น อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการมีฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำอย่างสม่ำเสมอในสารละลายรอบผิวเคลือบฟันเป็นสิ่งสำคัญและเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุ (Shellis และ Duckworth, 1994) นอกจากนี้ในเด็กที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุในระดับปานกลางถึงสูง (Moderate-high caries risk assessment) ซึ่งมีสภาวะความเป็นกรดต่างในช่องปากลดลงต่ำกว่าค่าวิกฤตเป็นเวลาหลายชั่วโมงต่อวัน วัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ น่าจะเป็นประโยชน์และช่วยลดความเสี่ยงต่อการลุกลามของรอยโรคจุดขาวได้จากการที่ฟลูออไรด์จากวัสดุจะถูกปลดปล่อยออกมาได้สูงมากขึ้นในสภาวะที่สารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง (Forsten, 1995; Attin และคณะ, 1999) นอกจากนี้การที่มีวัสดุบูรณะชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ในบริเวณด้านประชิดของรอยโรคจุดขาว จะทำให้สารละลายในบริเวณนั้นมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์สูงกว่าบริเวณอื่นๆที่ไกลออกไป แม้ในสภาวะช่องปากจริงจะมีปัจจัยของการชะล้างโดยน้ำลายเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่จากหลายการศึกษาที่ทำการทดลองโดยนำเม็ดฟลูออไรด์ (Fluoride tablet) วางไว้ที่ส่วนต่างๆในช่องปากพบว่า แม้จะมีการกระจายของฟลูออไรด์ไปยังบริเวณอื่นๆในช่องปาก แต่ในบริเวณที่วางเม็ดฟลูออไรด์ไว้นั้นจะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์คงอยู่เมื่อเวลาผ่านไปได้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ (Weatherell, Robinson และ Ralph, 1984; Primosch, Weatherell และ Strong, 1986)

จากการที่การดำเนินโรคของโรคฟันผุมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น พฤติกรรมการบริโภค การทำความสะอาดช่องปาก อัตราการไหลและองค์ประกอบของน้ำลาย



เป็นต้น ดังนั้นผลของวัสดุบุรณะฟันชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาว หรือการดำน้ำตาลไหม้ไม่ให้เกิดการดำเนินของโรคฟันผุต่อจนกลายเป็นโพรงรอยผุ จะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล อย่างไรก็ตามผลของการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดสามารถลดการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดผสมและไม่ผสมฟลูออไรด์ และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านกายภาพอื่นๆของวัสดุทั้ง 4 ชนิด การเลือกใช้วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ เพื่อการบุรณะฟันผุบริเวณด้านประชิดของฟันน้ำนม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวได้

### สรุปผลการวิจัย

วัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน และเรซินคอมโพสิตชนิดดัดแปลงด้วยโพลีแอซิดสามารถลดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวในชั้นเคลือบฟันของฟันกรามถาวรที่สัมผัสอยู่กับวัสดุบุรณะในห้องปฏิบัติการได้มากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดผสมฟลูออไรด์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ผสมฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

### ข้อเสนอแนะ

1. แม้ผลการวิจัยจะพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสวัสดุบุรณะแล้ว จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบุรณะเป็นฟลูออไรด์ในรูปแบบที่มีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำมาก ทำให้ผลของฟลูออไรด์ต่อการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคจุดขาวไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของแต่ละกลุ่มจึงมีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการออกแบบการวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มระยะเวลาในขั้นตอนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากให้มากกว่า 30 วัน เพื่อให้ผลของฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำในการลดสูญเสียและสนับสนุนการฟื้นกลับแร่ธาตุของ

รอยโรคจุดขาวชัดเจนและค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมหลังจากสัมผัสกับวัสดุบูรณะแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันมากขึ้น

2. ในขั้นตอนการแช่ขึ้นเคลือบฟันในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุภายหลังจากการสัมผัสกับวัสดุบูรณะเป็นเวลา 96 ชั่วโมงนั้น ในการวิจัยครั้งต่อไปควรปรับลดระยะเวลา เพื่อให้ใกล้เคียงกับระยะเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในช่องปากลดต่ำลงภายหลังการรับประทานอาหารในชีวิตประจำวันจริงมากยิ่งขึ้น

3. การวิเคราะห์ธาตุจากสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ยังมีข้อจำกัดและความยุ่งยากบางประการ เช่น การวัดปริมาณธาตุจากตัวอย่างจำนวนมากที่ต้องการนำผลมาเปรียบเทียบกันจะต้องวัดต่อเนื่องให้เสร็จในการเปิดใช้งานเครื่องครั้งเดียวกัน จึงจะสามารถนำผลมาเปรียบเทียบกันได้ การเตรียมสารสำหรับนำไปวัดค่อนข้างยุ่งยากในบางกรณี เช่นการวัดปริมาณแคลเซียมที่มีความเข้มข้นสูงและอยู่ในสารละลายที่มีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบเช่นในงานวิจัยนี้ จะต้องเจือจางสารละลายให้มีช่วงความเข้มข้นเหมาะสมในการวัด และเติมสารละลายแลนทานัมคลอไรด์เพื่อกำจัดการรบกวนจากฟอสเฟต และการที่สารละลายมีส่วนประกอบของกรดอินทรีย์ จะรบกวนการอ่านค่าปริมาณแคลเซียมของเครื่องทำให้ปริมาณแคลเซียมที่อ่านได้มีความแม่นยำ (Accuracy) ลดลง ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงควรปรับเปลี่ยนชนิดของสารละลายให้เหมาะสมกับการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้มากขึ้น

4. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิดที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame atomization technique) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมต่ำสุด (Lower limit of detection) ได้ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.01 ส่วนในล้านส่วน และอ่านค่าได้ที่ความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ในการวิจัยครั้งต่อไปหากต้องการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมให้มีความละเอียดยิ่งขึ้น อาจทดลองนำสารละลายไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินดักทีฟคัปเปิลด์พลาสมาสเปกโทรสโกปี (Inductively coupled plasma spectrophotometry) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความไวสูง สามารถวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมต่ำสุดได้ถึง 0.0001 ส่วนในล้านส่วน มีปัจจัยรบกวนจากแมทริกซ์ของสารน้อย แต่ต้องใช้ปริมาณสารมากกว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์มากกว่า ค่าใช้จ่ายสูงกว่า และผู้ควบคุมเครื่องต้องมีความชำนาญสูง

5. เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการวัดการสูญเสียแร่ธาตุโดยทางอ้อม ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป หากสามารถนำวิธีการวัดผลทางตรงอื่นๆ มาใช้ร่วมด้วย เช่น ไมโครเรดิโอกราฟ น่าจะช่วยสนับสนุนผลการวิจัยได้ชัดเจนขึ้น และรูปแบบการศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยจึงยังไม่สามารถนำไปใช้ในทางคลินิกได้โดยตรง จึงควรนำผลการวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางเพื่อทำการศึกษาในคลินิกต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- เต็มศรี ชำนิจารกิจ. 2540. ประชากรและตัวอย่าง (พิมพ์ครั้งที่ 5). ใน สถิติประยุกต์ทางการแพทย์, หน้า 99-132. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- แม่น อมรสิทธิ์. 2539. อิมิตชันสเปกโทรสโกปี. ใน หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, หน้า 386-414. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- สาธารณสุข, กระทรวง. 2543-44. รายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2543-44 ประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย.
- สาธารณสุข, กระทรวง. 2538. รายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2537 ประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย.
- Aboush, Y., Torabzadeh, H., and Lee, A. R. 1995. One-year fluoride release from fluoride-containing products. Journal of Dental Research 74: 881. Abstract No. 478.
- Akashi, A., Matsuya, Y., Unemori, M., and Akamine, A. 1999. The relationship between water absorption characteristics and the mechanical strength of resin-modified glass-ionomer cements in long-term water storage. Biomaterials 20: 1573-1578.
- Arends, J., and Christoffersen, J. 1986. The nature of early caries lesions in enamel. Journal of Dental Research 65: 2-11.
- Arends, J., and Christoffersen, J. 1990. Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. Journal of Dental Research 69 (Special Issue): 601-605.
- Arends, J., Christoffersen, J., Christoffersen, M. R., and Schuthof, J. 1983. Influence of fluoride concentration on the progress of demineralization in bovine enamel at pH 4.5. Caries Research 17: 455.
- Arends, J., and Ruben, J. 1988. Fluoride release from a composite resin. Quintessence International 19(7): 513-514.
- Arends, J., Ruben, J., and Dijkman, A. G. 1990. Effect of fluoride release from a fluoride-containing composite resin on secondary caries: an in vitro study. Quintessence International 21: 671-674.

- Arends, J., and van der Zee, Y. 1990. Fluoride uptake in bovine enamel and dentin from a fluoride-releasing composite resin. Quintessence International 21: 541-544.
- Applebaum, E. 1940. The radiopaque surface layer of enamel and caries. Journal of Dental Research 19: 41-46.
- Asmussen, E. 1983. Opacity of glass ionomer cements. Acta Odontologica Scandinavica 41(3): 155-157.
- Asmussen, E., and Peutzfeldt, A. 2002. Long-term fluoride release from a glass ionomer cement, a compomer, and from experimental resin composites. Acta Odontologica Scandinavica 60: 93-97.
- Attin, T., Buchalla, W., Siewert, C., and Hellwig, E. 1999. Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomers) in neutral and acidic buffer solutions. Journal of Oral Rehabilitation 26: 388-393.
- Attin, T., Vataschki, M., and Hellwig, E. 1996. Properties of resin-modified glass ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. Quintessence International 27(3): 203-209.
- Bala, O., Üçtaşlı, M., Can, H., Türköz, E., and Mukadder, C. 1997. Fluoride release from various restorative materials. Journal of Nihon University School of Dentistry 39(3): 123-127.
- Berg, J. H. 1998. The continuum of restorative materials in pediatric dentistry-a review for the clinician. Pediatric Dentistry 20(2): 93-100.
- Bertacchini, S. M., Abate, P. F., Blank, A., Baglieto, M. F., and Macchi, R. L. 1999. Solubility and fluoride release in ionomers and compomer. Quintessence International 30: 193-197.
- Borsboom, P. C. F., van der Mei, H. C., and Arends, J. 1985. Enamel lesion formation with and without 0.12 ppm F in solution. Caries Research 19: 396-402.
- Braden, M., and Clarke, R. L. 1984. Water absorption characteristics of dental microfine composite filling materials. Biomaterials 5: 369. Cited in A. J. Preston, L. M. Mair, E. A. Agalamanyi, and S. M. Higham. Fluoride release from esthetic dental materials. Journal of Oral Rehabilitation 26: 123-129. 1999.

- Braem, M. J. A., Lambrechts, P., Gladys, S., and Vanherle, G. 1995. In vitro fatigue behaviour of restorative composites and glass ionomers. Dental Materials 11: 137-141.
- Brown, W. E. 1974. Physicochemical mechanisms of dental caries. Journal of Dental Research 53: 204-216.
- Bynum, A. M., and Donly, K. J. 1999. Enamel de/remineralization on teeth adjacent to fluoride releasing materials without dentifrice exposure. Journal of Dentistry for Children 66(2): 89-92.
- Cattani-Lorente, M. A., Dupuis, V., Moya, F., Payan, J., and Meryer, J.-M. 1999. Comparative study of the physical properties of a polyacid-modified composite resin and a resin-modified glass ionomer cement. Dental Materials 15: 21-32.
- Chow, L. C., and Vogle, G. L. 2001. Enhancing remineralization. Operative Dentistry 6: 27-38.
- Clarkson, B. H. 1999. Introduction to cariology. Dental Clinics of North America 43(4): 569-578.
- Council on Dental Health and Health Planning, and Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. 1987. Pit and fissure sealant. Journal of the American Dental Association 107(3): 671-672.
- Creanor, S. L., Carruthers, L. M. C., Saunders, W. P., Strang, R., and Foye, R. H. 1994. Fluoride uptake and release characteristics of glass ionomer cements. Caries Research 28: 322-328.
- de Araujo, F. B., Garcia-godoy, F., Cury, J. A., and Conceição, E. N. 1996. Fluoride release from fluoride-containing materials. Operative Dentistry 21: 185-190.
- DeSchepper, E. J., Berry, E. A., Cailleteau, J. G., and Tate, W. H. 1990. Fluoride release from light-cured liners. American Journal of Dentistry 3(3): 97-100.
- Diaz-Arnold, A. M., Holmes, D. C., Wistrom, D. W., and Swift, E. J. Jr. 1995. Short-term fluoride release/uptake of glass ionomer restoratives. Dental Materials 11: 96-101.
- Dijkman, G. E. H. M., and Arends, J. 1992. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: A quantitative model investigation on four



- materials with a fluoride content between 0 and 26 vol%. Caries Research 26: 351-357.
- Dijkman, G. E. H. M., de Vries, J., Lodding, A., and Arends, J. 1993. Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralization data. Caries Research 27: 117-123.
- Dionysopoulos, P., Kotsanos, N., Papadogiannis, Y., and Konstantinidis, Y. 1998. Artificial secondary caries around two new F-containing restoratives. Operative Dentistry 23: 81-86.
- Dirks, O. B. 1966. Post-eruptive changes in dental enamel. Journal of Dental Research 45: 503-511.
- Donly, K. J., and Gomez, C. 1994. In vitro demineralization-remineralization of enamel caries at restoration margins utilizing fluoride-releasing composite resin. Quintessence International 25: 355-358.
- Donly, K. J., Segura, A., Wefel, J. S., and Hogan, M. M. 1999. Evaluating the effects of fluoride-releasing dental materials on adjacent interproximal caries. Journal of the American Dental Association 130: 817-825.
- Driessens, F. C. M. 1973a. Fluoride incorporation and apatite solubility. Caries Research 7: 297-314.
- Driessens, F. C. M. 1973b. Relation between apatite solubility and anti-cariogenic effect of fluoride. Nature 243: 420-421.
- Driessens, F. C. M. 1982. Mineral aspects of dentistry. Karger, Basel. Cited in Chow, L. C., and Vogel, G. L. 2001. Enhancing remineralization. Operative Dentistry (Supplement No. 6): 27-38.
- Eichmiller F. C., and Marjenhoff, W. A. 1998. Fluoride-releasing dental restorative materials. Operative Dentistry 23: 218-228.
- Eisenberg, A. D., Bender, G. R., and Marquis, R. E. 1980. Reduction in the aciduric properties of the oral bacterium *Streptococcus mutans* GS5 by fluoride. Archives of oral Biology 25: 133-135.
- Englander, H. R., Carter, WM. J., and Fosdick, L. 1956. The formation of lactic acid in dental plaques III. Caries-immune individuals. Journal of Dental Research 35(5): 792-799.

- Fejerskov, O., and Clarkson, B. H. 1996. Dynamics of caries lesion formation. In O. Fejerskov, J. Ekstrand, and B. A. Burt. (eds.), Fluoride in dentistry ,pp. 187-213. Copenhagen: Munksgaard.
- Fejerskov, O, Thylstrup, A. and Larsen, M. J. 1981. Rational use of fluorides in caries prevention. Acta Odontologica Scandinavica 39: 241-249.
- Featherstone, J. D. B. 1977. Diffusion phenomena during artificial carious lesion formation. Journal of Dental Research 56: 48.
- Featherstone, J. D. B. 1999. Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. Community Dentistry and Oral Epidemiology 27: 31-40.
- Featherstone, J. D. B., Glena, R., Shariati, M., and Shields, C. P. 1990. Dependence of in vitro demineralization of apatite and remineralization of dental enamel on fluoride concentration. Journal of Dental Research 69 (Special Issue): 620-625.
- Featherstone, J. D., and Rodgers, B. E. 1981. Effect of acetic, lactic and other organic acids on the formation of artificial carious lesions. Caries Research 15: 377-385.
- Featherstone, J. D., Shields, C. P., Khademazad, B., and Oldershaw, M. D. 1983. Acid reactivity of carbonated-apatites with strontium and fluoride substitutions. Journal of Dental Research 62: 1049-1053.
- Forsten, L. 1990. Short-and long-term fluoride release from glass ionomers and other fluoride-containing filling materials in vitro. Scandinavian Journal of Dental Research 98: 179-185.
- Forsten, L. 1995. Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. Acta Odontologica Scandinavica 53: 222-225.
- Fritz, U., Finger, W. J., and Uno, S. 1996. Long-term mechanical characteristics of resin-modified glass ionomer restorative materials. Dental Materials 12(1): 64-69.
- Galvan, R. I., Robertello, F. J., and Lynde, T. A. 2000. In vitro comparison of fluoride release of six direct core materials. Journal of Prosthetic Dentistry 83: 629-633.
- Geddes, D. A. M. 1975. Acids produced by human dental plaque metabolism in situ. Caries Research 9: 98-109.

- Gibbs, C. D., Atherton, S. E., Huntington, E., Lynch, R. J. M., and Duckworth, R. M. 1995. Effect of low levels of fluoride on calcium uptake by demineralized human enamel. Archives of Oral Biology 40(9): 879-881.
- Glasspoole, E. A., Erickson, R. L., and Davidson, C. L. 2001. A fluoride-releasing composite for dental applications. Dental Materials 17: 127-133.
- Gray, J. A. 1962. Kinetics of the dissolution of human dental enamel in acid. Journal of Dental Research 41(3): 663-645.
- Grobler, S. R., Rossouw, R. J., and Van Wyk Kotze, T. J. 1998. A comparison of fluoride release from various dental materials. Journal of Dentistry 26(3): 259-265.
- Hamilton, I. R. 1977. Effects of fluoride on enzymatic regulation of bacterial carbohydrate metabolism. Caries Research 11 (Supplement No. 1): 262-291.
- Helvatjoglu-Antoniades, M., Karantakis, P., Papadogiannis, Y., and Kapetanios, H. 2001. Fluoride release from restorative materials and a luting cement. The Journal of Prosthetic Dentistry 96(2): 151-164.
- Hickel, R., Dasch, W., Janda, R., Tyas, M., and Anusavice, K. 1998. New direct restorative materials. International Dental Journal 48(1): 3-16.
- Hickel, R. A., and Folwaczny, M. 2001. Various forms of glass ionomers and compomers. Operative Dentistry (Supplement No. 6): 177-190.
- Holmen, L., Thylstrup, A., and Årtun, J. 1987. Clinical and histological features observed during arrestment of active enamel carious lesions in vivo. Caries Research 21: 546-554.
- Holmen, L., Thylstrup, A., Øgaard, B., and Kragh, F. 1985. A scanning electron microscopic study of progressive stages of enamel caries in vivo. Caries Research 19: 355-367.
- Holt, R. D. 1995. The pattern of caries in a group of 5-year-old children and in the same cohort at 9 years of age. Community Dental Health 12: 93-99.
- Hoppenbrouwers, P. M. M., Driessens, F. C. M., and Borggreven, J. M. P. M. 1987. The demineralization of human dental roots in the presence of fluoride. Journal of Dental Research 66(8): 1370-1374.

- Hse, K. M. Y., Leung, S. K., and Wei, S. H. Y. 1999. Resin-ionomer restorative materials for children: A review. Australian Dental Journal 44(1): 1-11.
- Ivoclar Vivadent AG, Research and Development, Scientific service. 1998. Compoglass<sup>®</sup> F Compoglass<sup>®</sup> Flow. Scientific Documentation Liechtenstein. (Unpublished Manuscript)
- Ivoclar Vivadent AG, Research and Development, Scientific service. 2001. The Heliomolar<sup>®</sup> family: Heliomlar<sup>®</sup> Heliomolar<sup>®</sup> Flow Heliomlar<sup>®</sup> HB. Scientific Documentation Liechtenstein. (Unpublished Manuscript)
- Jang, K. J., Garcia-Godoy, F., Donly, K. J., and Segura, A. 2001. Remineralizing effects of glass ionomer restorations on adjacent interproximal caries. Journal of Dentistry for Child 68(2): 125-128.
- Karantakis, P., Helvatjoglou-Antonaides, M., Theodoridou-Pahini, S., and Papadogiannis, Y. 2000. Fluoride release from three glass ionomers, a compomers, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. Operative Dentistry 25: 20-25.
- Kashket, S., and Kashket, E. R. 1985. Dissipation of the proton motive force in oral streptococci by fluoride. Infection and Immunity 48(1): 19-22.
- Kashket, S., Rodriguez, V. M., and Bunick, F. J. 1977. Inhibition of glucose utilization in oral streptococci by low concentrations of fluoride. Caries Research 11: 301-307.
- Koulourides, T., Cueto, H., and Pigman, W. 1961. Rehardening of softened enamel surfaces of human teeth by solutions of calcium phosphates. Nature 189: 226-227.
- Koulourides, T., and Reed, J. L. 1964. Effects of calcium, phosphate, and fluoride ions on the rate of softening and dissolution of teeth enamel. Archives of oral Biology 9: 585-594.
- Kotsanos, N. 2001. An intraral study of caries induced on enamel in contact with fluoride-releasing restorative materials. Caries Research 35: 200-204.
- Lammers, P. C., Borggreven, J. M., and Driessens, F. C. M. 1990. Influence of fluoride on in vitro remineralization of artificial subsurface lesions determined with a sandwich technique. Caries Research 24: 81-85.

- Lammers, P. C., Borggreven, J. M., Driessens, F. C. M., van Dijk, J. W. E. 1991. Influence of fluoride and carbonate on in vitro remineralization of bovine enamel. Journal of Dental Research 70: 970-974.
- Larsen, M. J. 1986. An investigation of the theoretical background for the stability of the calcium-phosphate salts and their mutual conversion in aqueous solutions. Archives of oral Biology 31(11): 757-761.
- Larsen, M. J. 1990. Chemical events during tooth dissolution. Journal of Dental Research 69 (Special Issue): 575-580.
- Larsen, M. J., and Jensen, S. J. 1989. Solubility, unit cell dimensions and crystallinity of fluoridated human dental enamel. Archives of oral Biology 34(12): 969-973.
- LeGeros, R. Z., Silverstone, L. M., Daculsi, G., and Kerebel, L. M. 1983. In vivo caries-like lesion formation in F-containing tooth enamel Journal of Dental Research 62: 138-144.
- LeGeros, R. Z., and Tung, M. S. 1983. Chemical stability of carbonate- and fluoride-containing apatites. Caries Research 17: 419-429.
- Levine, R. S. 1991, April. Fluoride and caries prevention: 1. Scientific rationale. Dent Update: 105-110.
- Mandel, I. D. 1987. The function of saliva. Journal of Dental Research 66: 623-627.
- Maneenut, C., and Tyas, M. J. 1995. Clinical evaluation of resin-modified glass ionomer restorative cements in cervical 'abrasion' lesion: One-year results. Quintessence International 26(10): 739-743.
- Manly, R. S., and Harrington, D. P., 1959. Solution rate of tooth enamel in an acetate buffer. Journal of Dental Research 38: 910-919.
- Margolis, H. C., and Moreno, E. C. 1990. Physicochemical perspectives on the cariostatic mechanisms of systemic and topical fluoride. Journal of Dental Research 69 (Special Issue): 606-613.
- Margolis, H. C., Moreno, E. C., and Murphy, B. J. 1986. Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization in vitro. Journal of Dental Research 65(1): 23-29.

- Marinelli, C. B., Donly, K. J., Wefel, J. S., Jakobsen, J. R., and Denehy, G. E. 1997. An in vitro comparison of three fluoride regimens on enamel remineralization. Caries Research 31: 418-422.
- Mathis, R. S., and Ferracane, J. L. 1989. Properties of a glass ionomer/resin-composite hybrid material. Dental Materials 5(5): 355-358.
- McCabe, J. F., 1998. Resin-modified glass ionomer cements. Biomaterials 19: 521-527.
- McCaghren, R. A., Retief, D. H., Bradley, E. L., and Denys, F. R. 1990. Shear bond strength of light-cured glass ionomer to enamel and dentin. Journal of Dental Research 69(1): 40-45.
- Mejàre, I., Stenlund, H., Julihn, A., Larsson, I., and Permert, L. 2001. Influence of approximal caries in primary molars on caries rate for the mesial surface of the first permanent molar in Swedish children from 6 to 12 years of age. Caries Research 35: 178-185.
- Meyer, J. M., Cattani-Lorente, M. A., and Dupuis, V. 1998. Compomers: between glass ionomer cements and composites. Biomaterials 19: 529-539.
- Miller, M. C. 1991, February. Cariostatic mechanisms of fluoride. The New York State Dental Journal 33-35.
- Mitra, S. B. 1991a. Adhesion to dentin and physical properties of a light cured glass ionomer liner/base. Journal of Dental Research 70(1): 72-74.
- Mitra, S. B. 1991b. In vitro fluoride release from light-cured glass-ionomer liner/base Journal of dental research 70: 75-78.
- Momoi, Y., and McCabe, J. F. 1993. Fluoride release from light-activated glass ionomer restorative cements. Dental Materials 9: 151-154.
- Moore, B. W., Carter, W. J., Dunn, J. K., and Fosdick, L. S. 1956. The formation of lactic acid in dental plaques. I. Caries-active individuals. Journal of Dental Research 35: 778-785.
- Moreno, E. C. 1993. Role of Ca-P-F in caries prevention: chemical aspects. International Dental Journal 43: 71-80.
- Moreno, E. C., Kresak, M., and Zahradnik, R. T. 1974. Fluoridated hydroxyapatite solubility and caries formation. Nature 247: 64-65.



- Moreno, E. C., Kresak, M., and Zahradnick, R. T. 1977. Physicochemical aspects of fluoride-apatite systems relevant to the study of dental caries. Caries Research 11: 142-160.
- Moreno, E. C., and Margolis, H. C. 1988. Composition of human plaque fluid. Journal of Dental Research 67(9): 1181-1189.
- Moreno, E. C., Zahradnik, R. T. 1973. The pore structure of human dental enamel. Archives of oral Biology 18: 1063-1068.
- Moreno, E. C., and Zahradnik, R. T. 1974. Chemistry of enamel subsurface demineralization. Journal of Dental Research 53: 226-235.
- National Institutes of Health. 1984. Consensus development conference statement on dental sealants in the prevention of tooth decay. Journal of the American Dental Association 108: 233-236.
- Nelson, D. G. A., Featherstone, J. D. B., Duncan, J. F., and Cutress, T. W. 1983. Effect of carbonate and fluoride on the dissolution behaviour of synthetic apatites. Caries Research 17: 200-211.
- Nicholson, J. W., and Croll, T. P. 1997. Glass-ionomer cements in restorative dentistry. Quintessence International 28: 705-714.
- Nicholson, J. W., Millar, B. J., Czarnecka, B., and Limanowska-Show, H. 199. Storage of polyacid-modified resin composites ("compomer") in lactic acid solution. Dental Materials 15: 413-416.
- Ögaard, B., Rölla, G., Ruben, J., Dijkman, T., and Arends, J. 1988. Microradiographic study of demineralization of shark enamel in a human caries model. Scandinavian Journal of the Dental Research 96: 209-211.
- Okazaki, M., Aoba, T., Doi, Y., Takahashi, J., and Moriwaki, Y. 1981. Solubility and crystallinity in relation to fluoride content of fluoridated hydroxyapatites. Journal of Dental Research 60(4): 845-849.
- Okazaki, M., and LeGeros, R. S. 1996. Properties of heterogeneous apatites containing magnesium, fluoride, and carbonate. Advance Dental Research 10(20): 252-259.

- Okazaki, M., Takahashi, J., and Kimura, H. 1984. Crystallinity patterns of fluoridated hydroxyapatites before and after incubation in acidic buffer solution. Caries Research 18: 499.
- Orams, H. J., Zybert, J. J., Phakey, P. P., and Rachinger, W. A. 1976. Ultrastructural study of human dental enamel using selected-areas argon-ion-beam thinning. Archives of oral Biology 21: 663-675.
- Patel, M. V., Fox, J. L., and Higuchi, W. I. 1987. Physical model for non-steady-state dissolution of dental enamel. Journal of Dental Research 66: 1418.
- Peng, D., Smales, R. J., Yip, H-K., and Shu, M. 2000. In vitro fluoride release from aesthetic restorative materials following recharging with APF gel. Australian Dental Journal 45(3): 198-203.
- Preston, A. J., Higham, S. M., Agalamanyi, E. A., and Mair, L. H. 1999. Fluoride recharge of aesthetic dental materials. Journal of Oral Rehabilitation 26: 936-940.
- Primosch, R. E., Weatherell, J. A., and Strong, M. 1986. Distribution and retention of salivary fluoride from a sodium fluoride tablet following various intra-oral dissolution method. Journal of Dental Research 65: 1001-1005.
- Robinson, C., Kirkham, J., and Weatherell, J. A. 1996. Fluoride in teeth and bone. In O. Fejerskov, J. Ekstrand, and Burt, B. A. (eds.), Fluoride in Dentistry, 2<sup>nd</sup> ed. pp. 69-87. Copenhagen, Munksgaard.
- Saleeb, F. Z., and de Bruyn, P. L. 1972. Surface properties of alkaline earth apatites. J Electroanal Chem 37: 99-118. Cited in R. P., Shellis, and R. M., Duckworth. Studies on cariostatic mechanisms of fluoride. International Dental Journal 44: 263-273., 1994.
- Segura, A., Donly, K. J., and Stratman, R. G. 1997. Enamel remineralization on teeth adjacent to class II glass ionomer restorations. American Journal of Dentistry 10: 247-250.
- Shaw, A. J., Carrick, T., and McCabe, J. F. 1998. Fluoride release from glass-ionomer and compomer restorative materials: 6-month data. Journal of Dentistry 4: 355-359.
- Shellis, R. P., Dibdin, G. H. 1988. Analysis of the buffering systems in dental plaque. Journal of Dental Research 67(2): 438-446.

- Shellis, R. P., and Duckworth, R. M. 1994. Studies on cariostatic mechanisms of fluoride. International Dental Journal 44: 263-273.
- Sidhu, S. K., and Watson, T. F. 1995. Resin-modified glass ionomer materials. A status report for the American Journal of Dentistry. American Journal of Dentistry 8: 59-67.
- Silverstone, L. M. 1977. Remineralization phenomena. Caries Research 11: 59-84.
- Simmelink, J. W. 1994. Histology of enamel. In James K. Avery (ed.), Oral development and histology, pp. 228-260. New York: Thieme Medical.
- Skjorland, K. K., Rykke, M., and Sonju, T. 1995. Rate of pellicle formation in vivo. Acta Odontologica Scandinavica 53(6): 358-362.
- Smales, R., and Joyce, K. 1978. Finished surface texture, abrasion, resistance and porosity of ASPA glass-ionomer cement. The Journal of Prosthetic Dentistry 40(5): 549-553.
- Small, I. C. B., Watson, T. F., Chadwick, A. V., and Sidhu, S. K. 1998. Water sorption in resin-modified glass-ionomer cements: An in vitro comparison with other materials. Biomaterial 19: 545-550.
- Stephan, R. M. 1940. Changes in hydrogen-ion concentration on tooth surfaces and in carious lesions. Journal of the American Dental Association 27: 718-723.
- Stephan, R. M. 1944. Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity. Journal of Dental Research 23: 257-266.
- Suljak, J. P., and Hatibovic-Kofman, S. 1996. A fluoride release-absorption-release system applied to fluoride-releasing restorative materials. Quintessence International 27: 635-638.
- Sutton, S. V. W., Bender, G. R., and Marquis, R. E. 1987. Fluoride inhibition of proton-translocating ATPase of oral bacteria. Infection and Immunity 55: 2597-2603.
- Swift, E. J. Jr. 1989. Fluoride release from two composite resins. Quintessence International 20(12): 895-897.
- Takagi, S., Liao, H., and Chow, L. C. 2000. Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/remineralization in vitro. Caries Research 34: 281-288.

- Takahashi, K., Emilson, C. G., and Birkhed, D. 1993. Fluoride release in vitro from various glass ionomer cements and resin composites after exposure to NaF solutions. Dental Materials 9: 350-354.
- Tam, L. E., Chan, G. P-L., and Yim, D. 1997. In vitro caries inhibition effects by conventional and resin-modified glass-ionomer restorations. Operative Dentistry 22: 4-14.
- Tanaka, M., Moreno, E. C., and Margolis, H. C. 1993. Effect of fluoride incorporation into human dental enamel on its demineralization in vitro. Archives of oral Biology 38(10): 863-869.
- Tyas, M. J. 1995. The class V lesion-aetiology and restoration. Australian Dental Journal 40(3): 167-170.
- Temin, S. C., Csuros, Z. 1988. Long-fluoride release from a composite restorative. Dent Materials 4: 184-186.
- ten Cate, J. M. 1990. In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. Journal of Dental Research 69: 614-619.
- ten Cate, J. M. 1997. Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. European Journal of Oral Science 105: 461-465.
- Ten Cate, J. M., Buijs, M. J., Damen, J. J. M. 1995. pH-cycling of enamel and dentin lesions in the presence of low concentrations of fluoride. European Journal of Oral Science 103: 362.
- ten Cate, J. M., and Duijsters. P. P. E. 1982. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. Caries Research 16: 201-210.
- ten Cate, J. M., and Duijsters. P. P. E. 1983b. Influence of fluoride in solution on tooth demineralization. II. Microradiographical data. Caries Research 17: 513-519.
- ten Cate, J. M., and Featherstone, J. D. B. 1991. Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. Critical Reviews in Oral Biology and Medicine 2(2): 283-295.

- ten Cate, J. M., Timmer, K., Shariati, M., and Featherstone, J. D. B. 1988. Effect of timing of treatment on enamel de- and remineralisation in vivo: A pH cycling study. Caries Res 22: 20-26.
- ten Cate, J. M., and van Loveren, C. V. 1999. Fluoride mechanism. Dental Clinics of North America 43(4): 713-742.
- Thylstrup, A., Bruun, C., and Holmen, L. 1994. In vivo caries models-mechanisms for caries initiation and arrestment. Advance Dental Research 8(2): 144-157.
- Thylstrup, A., and Fejerskov, O. 1994a. Clinical and pathological features of dental caries. In A. Thylstrup, and O. Fejerskov (eds.), Textbook of Clinical Cariology (2<sup>nd</sup> ed), pp. 111-157. Denmark: Munksgaard.
- Thylstrup, A., and Fejerskov, O. 1994b. Saliva. In A. Thylstrup, and O. Fejerskov (eds.), Textbook of Clinical Cariology (2<sup>nd</sup> ed), pp. 17-43. Denmark: Munksgaard.
- van den Hoek, W. G. M., Feenstra, T. P., and de Bruyn, P. L. 1980. Influence of fluoride on the formation of calcium phosphates in moderately supersaturated solutions. Journal of Physical Chemistry 84: 3312-3317.
- Varughese, K., and Moreno. E. C. 1981. Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluoride. Calcified Tissue International 33: 431-439.
- Verbeeck, R. M., De Maeyer, E. A., Marks, L. A., De Moor, R. J., De Witte, A. M., and Trimpeneer, L. M. 1998. Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus polyacid-modified composite resins. Biomaterials 19: 509-519.
- Vermeersch, G., Leloup, G., and Vreven. 2001. Fluoride release from glass-ionomer cements, compomers and resin composites. Journal of Oral Rehabilitation 28: 26-32.
- Wahab, F. K., Shellis, R. P., and Elderton, R. J. 1993. Effects of low fluoride concentrations on formation of caries-like lesions in human enamel in a sequential-transfer bacterial system. Archives of oral Biology 38: 985-993.
- Wandera, A. 1998. In vitro enamel effects of a resin-modified glass ionomer: fluoride uptake and resistance to demineralization. Pediatric Dentistry 20(7): 411-417.
- Watts, D. C. 1998. Analysis of reactions in glass-polyalkenoate/resin systems by dielectric impedance spectroscopy. Biomaterials 19: 551-557.

- Weatherell, J. A., Robinson, C., Ralph, J. P., and Best, J. S. 1984. Migration of fluoride in the mouth. Caries Research 18: 348-353.
- White, D. J. 1987. Use of synthetic polymer gels for artificial carious lesion preparation. Caries Research 21: 228-242.
- Williams, J. A., Billington, R. W., and Pearson, G. J. 2001. A long term study of fluoride release from metal-containing conventional and resin-modified glass-ionomer cements. Journal of Oral Rehabilitation 28: 41-47.
- Wilson, A. D., 1990. Resin-modified glass-ionomer cements. International Journal of Prosthodontic 3: 425-429.
- Yap, A. U. J., Khor, E., and Foo, S. H. 1999. Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. Operative Dentistry 24: 297-305.
- Yip, Hak-Kong., and Smales, R. 2000. Fluoride release from a polyacid-modified resin composite and 3 resin-modified glass-ionomer materials. Quintessence International 31: 261-266.
- Zero, D. T. 1994. Evaluation of fluoride dentifrices using a short-term intraoral remineralization model [Abstract No. 1363]. Journal of Dental Research 73: 272.
- Zero, D. T. 1999. Dental caries process. Dental Clinics of North America 43(4): 635-664.
- 3 M Dental Products Laboratory. 1998. 3M Filtek™ Z250 Universal restorative system. Technical product profile St. Paul, MN. (Unpublished Manuscript)



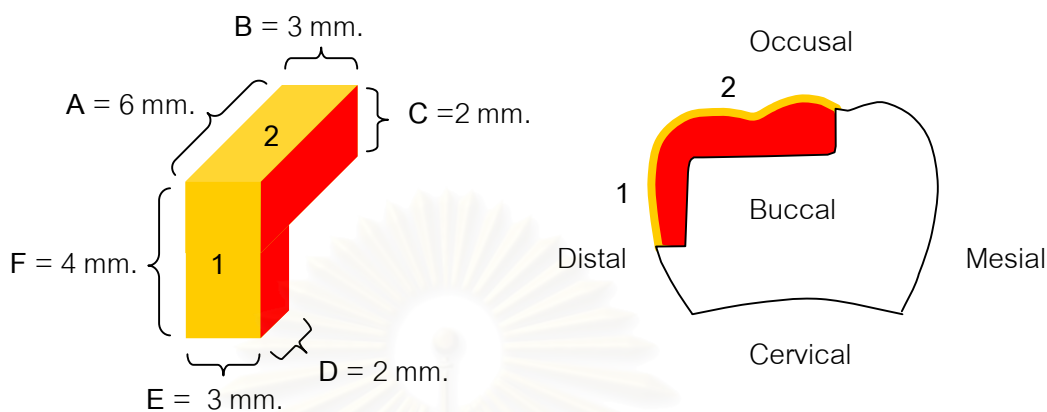


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การกำหนดขนาดของวัสดุบูรณะ

ขนาดของรูปทรงวัสดุบูรณะ ได้จากการประมาณค่าดังต่อไปนี้



Diameter of maxillary second primary molar			Dimension of material
M-D diameter of crown	9.05 mm.	2/3 of M-D = 6.03 mm.	6 mm.
B-Li diameter of crown	9.35 mm.	1/3 of B-Li = 3.12 mm.	3 mm.
Length of crown	5.60 mm.	2/3 of crown length = 3.7 mm.	4 mm.

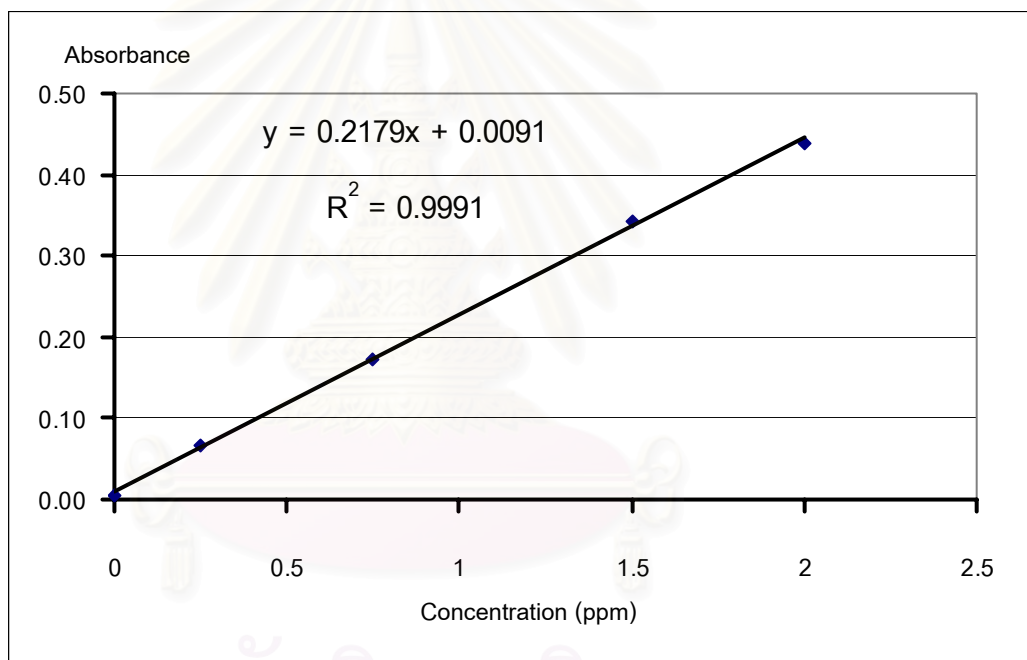
ขนาดของวัสดุได้จากการตัดแปลงจากขนาดของโพรงฟันอุดมคติแบบที่ 2 (Ideal Class II preparation) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ด้าน A : ได้จากการคำนวณความกว้างของโพรงฟันบนด้านบดเคี้ยวที่ขยายจากด้านประชิดไปถึงหลุมร่องฟันด้านใกล้กลาง (Mesial pit) ซึ่งคิดเป็นประมาณ 2/3 ของความกว้างตัวฟันด้านใกล้กลาง-ไกลกลาง (Mesio-distal diameter of crown)
- ด้าน B, E : ได้จากการคำนวณความกว้างของโพรงฟันบนด้านบดเคี้ยวและด้านประชิด (Proximal box) ให้มีความกว้างประมาณ 1/3 ของตัวฟันในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (Buccal-lingual diameter of crown)
- ด้าน C : ได้จากการประมาณความลึกของโพรงฟันที่พื้นโพรงฟันอยู่ที่ระดับต่ำกว่ารอยต่อของชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟันประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
- ด้าน D : ได้จากความกว้างของโพรงฟันแบบอุดมคติที่ควรมีพื้นโพรงฟันด้านใกล้เหงือก (gingival floor) กว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร แต่จะทำให้วัสดุมีขนาดบางมาก แตกหักได้ง่ายในการทำวิจัย จึงกำหนดให้มีความกว้างเท่ากับ 2 มิลลิเมตร
- ด้าน F : ได้จากการคำนวณให้โพรงฟันมีความสูงประมาณ 2/3 ของความสูงตัวฟัน (Length of crown) เนื่องจากพื้นของโพรงฟันควรอยู่เหนือระดับคอฟันหรือรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (Cemento-enamel junction)

## การคำนวณปริมาณแคลเซียม

การเก็บตัวอย่างสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแคลเซียมเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ใช้การเตรียมสารดังในหัวข้อที่ 4 บทวิธีการดำเนินการวิจัย หน้า 46 (หัวข้อ : การเก็บสารละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมเบื้องต้น) ซึ่งจะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจางประมาณ 30 เท่า จำนวน 2 ขวดต่อ 1 ซึ้นพื้น

นำสารละลายมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ด้วยวิธี Standard additional method เครื่องจะอ่านผลเป็นค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาแทนค่าในสมการที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ 17) จะได้ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่ต้องการ



ภาพที่ 17

ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อใช้ในการอ่านค่าความเข้มข้นแคลเซียมจากค่าการดูดกลืนแสง

## ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแคลเซียม

ชั้นพื้นที่	ค่าการดูดกลืนแสง		
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	เฉลี่ย
1	0.212	0.214	0.213

$$\text{สมการจากกราฟมาตรฐาน} \quad Y = 0.2179X + 0.0091 \quad (1)$$

$$\text{สูตร} \quad \text{โมล (Mole)} = \text{มวล (g)} / \text{มวลโมเลกุล} \quad (2)$$

โดย  $Y =$  ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

$X =$  ค่าความเข้มข้นแคลเซียม (ส่วนในล้านส่วน, ppm)

สารละลายมีปริมาตร  $= 25$  มิลลิลิตร (ml)

แคลเซียมมีมวลโมเลกุล  $= 40.08$

ชั้นเคลือบพื้นมีพื้นที่หน้าตัด  $= 0.08$  ตารางเซนติเมตร

(กว้าง X ยาว  $= 0.2 \times 0.4$  ตารางเซนติเมตร)

แทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการ (1)

$$\text{ความเข้มข้นแคลเซียมที่เจือจาง 30 เท่าได้} = 0.9358 \text{ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร}$$

$$\text{ความเข้มข้นแคลเซียมที่ไม่เจือจาง} = 0.9358 \times 30 = 28.074 \text{ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร}$$

แสดงว่าในสารละลาย 1 มิลลิลิตรมีปริมาณแคลเซียม 28.074 ไมโครกรัม

$$\text{ดังนั้นสารละลาย 25 มิลลิลิตร จะมีปริมาณแคลเซียม} = 28.074 \times 25 \text{ ไมโครกรัม}$$

$$= 701.85 \text{ ไมโครกรัม}$$

$$\text{จากสมการ (2) แคลเซียม 701.851 ไมโครกรัมคิดเป็น} = 701.85 / 40.08 \text{ ไมโครโมล}$$

$$= 17.5112 \text{ ไมโครโมล}$$

จากพื้นที่หน้าตัดเคลือบพื้น 0.08 ตารางเซนติเมตร

$$\text{ดังนั้นปริมาณแคลเซียมต่อตารางเซนติเมตร} = 17.5112 / 0.08$$

$$= 218.8903$$

ไมโครโมลต่อตารางเซนติเมตร

การตั้งค่าต่างๆเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์  
ในการวัดปริมาณแคลเซียม

Instrument mode	-	Absorbance
Calibration mode	-	Concentration
Measurement mode	-	Integration
Lamp position	-	2
Lamp current (mA)	-	10
Slit width (nm)	-	0.5
Slit height	-	Normal
Wavelength (nm)	-	422.7
Flame	-	Air-acetylene
Sample introduction	-	Normal
Delay time	-	6
Time constant	-	0.05
Measurement time (sec)	-	2.0
Replicates	-	3
Background correction	-	Off
Air flow (L/min)	-	13.5
Acetylene flow (L/min)	-	2.00

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ปริมาณแคลเซียมก่อนการสัมผัสวัสดุ

No.	Calcium ( $\mu\text{mole}/\text{cm}^2$ )			
	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	Compoglass <sup>®</sup> flow	Heliomolar <sup>®</sup>	Z 250 <sup>®</sup>
1	17.8125	18.5156	20.0391	21.6797
2	25.0781	21.7969	22.6172	22.7344
3	28.5938	29.1797	23.5547	28.2422
4	35.6250	33.9844	35.6250	31.1719
5	36.5625	41.0156	41.7188	41.9531
6	45.3516	42.4219	42.7734	44.6484
7	50.9766	58.8281	47.4609	48.6328
8	64.9219	66.5625	71.3672	59.0625
9	78.9844	79.6875	80.5078	81.6797
10	93.7500	83.6719	83.7891	84.2578
11	97.7344	80.8594	94.9219	97.7344
12	104.2969	105.7031	106.6406	114.1406
13	108.2813	108.5156	109.6875	116.7188
14	118.9453	115.3125	115.5469	126.7969
15	130.3125	131.0156	120.2344	132.7734

ค่าเฉลี่ย	69.1484	67.8047	67.7656	70.1484
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	37.6345	36.3864	36.3450	39.8495



ตารางที่ 9 ปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสวัสดุ

No.	Calcium ( $\mu\text{mole}/\text{cm}^2$ )			
	Fuji II LC Capsule <sup>®</sup>	Compoglass <sup>®</sup> flow	Heliomolar <sup>®</sup>	Z 250 <sup>®</sup>
1	227.3835	222.5433	226.8457	222.0055
2	218.7787	225.7701	225.2323	221.4677
3	219.3165	220.3921	220.3921	222.0055
4	219.8543	222.5433	226.3079	233.8372
5	220.9299	219.8543	222.0055	223.0811
6	220.3921	220.9299	226.3079	218.7787
7	217.1653	219.3165	219.8543	220.9299
8	219.8543	218.7787	225.7701	229.5348
9	218.2409	225.7701	225.2323	226.8457
10	219.8543	222.5433	225.2323	224.6945
11	223.6189	217.1653	225.7701	222.5433
12	222.0055	218.7787	220.3921	227.3835
13	219.3165	223.0811	224.6945	230.0726
14	218.2409	218.7787	223.0811	224.1560
15	219.8543	221.4677	223.6189	218.7787

ค่าเฉลี่ย	220.3204	221.1809	224.0491	224.4076
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.5050	2.5459	2.3635	4.3353

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

### 1. ปริมาณแคลเซียมก่อนการสัมผัสวัสดุ

#### 1.1 สถิติเชิงพรรณนา

Material	N	Mean	Std. Deviation	Std Error
Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	15	68.148438	37.63451	9.7171888
Compoglass <sup>®</sup> Flow	15	67.804690	36.386397	9.3949273
Heliomolar <sup>®</sup>	15	67.765627	36.345011	9.3842414
Z 250 <sup>®</sup>	15	70.148440	39.849481	10.2890920

#### 1.2 สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (One-Way ANOVA)

##### Tests of Normality

	material	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Calcium (before)	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	.929	15	.327
	Compoglass <sup>®</sup> flow	.945	15	.459
	Heliomolar <sup>®</sup>	.909	15	.162
	Z 250 <sup>®</sup>	.907	15	.147

##### Test of Homogeneity of Variance

Calcium (before)	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	.196	3	56	.899

## ANOVA

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	59.589	3	19.863	.014	.998
Within Groups	79089.741	56	1412.317		
Total	79149.329	59			

## 2. ปริมาณแคลเซียมหลังการสัมผัสวัสดุ

## 2.1 สถิติเชิงพรรณนา

Material	N	Mean	Std. Deviation	Std Error
Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	15	220.32039	2.5049728	0.6467812
Compoglass <sup>®</sup> Flow	15	221.18087	2.5458752	0.6573422
Heliomolar <sup>®</sup>	15	224.04914	2.3635246	0.6192594
Z 250 <sup>®</sup>	15	224.40765	4.3352831	1.1193653

## 2.2 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและทดสอบความความแปรปรวน

## Tests of Normality

	material	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Calcium (after)	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	.835	15	.010
	Compoglass <sup>®</sup> flow	.943	15	.440
	Heliomolar <sup>®</sup>	.876	15	.045
	Z 250 <sup>®</sup>	.938	15	.406

## Test of Homogeneity of Variance (ระหว่าง 3 กลุ่มทดลอง)

Calcium (After)	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	0.261	2	42	0.772

## 2.3 สถิติแมนนวิทนีย์

เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมทีละคู่

## Mann-Whitney U Test

		Mann-Whitney U	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	Z 250 <sup>®</sup>	42.000	-2.931	0.003
Compoglass <sup>®</sup> Flow	Z 250 <sup>®</sup>	62.000	-2.103	0.035
Heliomolar <sup>®</sup>	Z 250 <sup>®</sup>	108.500	-0.166	0.868

## 2.4 ครุสคัล-วัลลิส

## Kruskal-Wallis Test Statistics

	CALCIUM
Chi-Square	13.469
df	2
Asymp. Sig.	.001

## 2.5 สถิติแมนวิทนี (Mann-Whitney U Test)

เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในระหว่างกลุ่มทดลอง

## Mann-Whitney U Test

		Mann-Whitney U	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	Compoglass <sup>®</sup> Flow	87.000	-1.063	0.288
	Heliomolar <sup>®</sup>	31.000	-3.393	0.001
Compoglass <sup>®</sup> Flow	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	87.000	-1.063	0.288
	Heliomolar <sup>®</sup>	47.000	-2.726	0.006
Heliomolar <sup>®</sup>	Fuji II LC capsule <sup>®</sup>	31.000	-3.393	0.001
	Compoglass <sup>®</sup> Flow	47.000	-2.726	0.006

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ฤดี สุมาลย์นพ เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษา 2543 ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งอาจารย์ระดับ 5 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย