

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรม

#### การเคลือบหลุมและร่องฟัน

##### ระบาดวิทยาของโรคฟันผุ

โรคฟันผุนับเป็นปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญปัญหาหนึ่งของโลก ดังจะเห็นได้จากผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ของประเทศไทย พ.ศ. 2537 พบว่า เด็กกลุ่มอายุ 6 ปี ร้อยละ 11.1 มีฟันผุ เด็กกลุ่มอายุ 12 ปี ร้อยละ 53.9 มีฟันผุ และ กลุ่มอายุ 17-19 ปี ร้อยละ 63.7 มีฟันผุ โดยในประชากรทุกกลุ่มอายุที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าการผุส่วนใหญ่เป็นการผุแบบด้านเดียวและเป็นด้านบดเคี้ยวเป็นส่วนใหญ่ (คมสรรพและจันทนา, 2537; กระทรวงสาธารณสุข, กองทันตสาธารณสุข, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจของ สถาบันวิจัยทางทันตกรรมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Institute for Dental Research - NIDR) ในปีค.ศ. 1986-1987 พบว่าเด็กอายุ 5-17 ปี มีฟันผุร้อยละ 50 โดยมีค่าเฉลี่ยฟันผุ ถอน อุด 3.07 ซึ่งต่อคน ซึ่งแบ่งเป็นฟันผุนด้านบดเคี้ยวร้อยละ 58 (ค่าเฉลี่ยฟันผุ ถอน อุด 1.77 ซึ่งต่อคน) ฟันผุของด้านใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้นร้อยละ 30 (ค่าเฉลี่ยฟันผุ ถอน อุด 0.93 ซึ่งต่อคน) และฟันผุ ของด้านประชิดร้อยละ 12 (ค่าเฉลี่ยฟันผุ ถอน อุด 0.37 ซึ่งต่อคน) จะเห็นได้ว่าเป็นการผุบริเวณ หลุมและร่องฟันถึงร้อยละ 88 (Brown และ Selwitz, 1995) นอกจากนี้ในการศึกษาของ Hicks และ Flaitz (1999) พบว่าอัตราการเกิดฟันผุนด้านหลุมและร่องฟันเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.9 ต่อปี ในขณะที่ด้านประชิดมีอัตราการผุเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1.3 ต่อปี จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการผุบริเวณหลุมและร่องฟันโดยเฉพาะบนด้านบดเคี้ยวเป็นปัญหา ทันตสาธารณสุขที่สำคัญที่ควรได้รับการแก้ไข

##### การป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยว

ด้านบดเคี้ยวของฟันกรามมีโอกาสที่จะเกิดฟันผุได้ง่ายเนื่องจากลักษณะกายวิภาคเป็นหลุมและร่องฟัน หลุมและร่องฟันที่แคบและลึกจะส่งเสริมให้เกิดการกักเก็บสะสมของ เชื้อจุลินทรีย์และสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดฟันผุ และการผุที่บริเวณนี้ สามารถลุกลามเข้าสู่ชั้นเนื้อฟันได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากฐานของหลุมและร่องฟันอยู่ใกล้รอยต่อ ระหว่างผิวเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (Dentinoenamel junction) (Hicks และ Flaitz, 1999) จากอดีต จนถึงปัจจุบันได้มีความพยายามในการหาวิธีการป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยวมาเป็นลำดับกล่าว

คือ Hyatt (1923) แนะนำวิธีโพไฟแลคติก โอดอนโตโตมี (Prophylactic Odontotomy) วิธีการนี้คือการกรอฟันในลักษณะของการบูรณะโพรงฟันแบบที่หนึ่ง โดยการกรอแต่งจะอยู่เฉพาะในชั้นผิวเคลือบฟันเท่านั้น โดยให้ครอบคลุมบริเวณหลุมและร่องฟันที่เสี่ยงต่อการเกิดฟันผุทั้งหมด แล้วอุดด้วยวัสดุอมัลกัมและขัดขอบให้เรียบร้อย วิธีนี้ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากต้องกรอฟันที่ยังไม่ผุ ต่อมา Bodecker (1929) แนะนำให้กำจัดร่องฟันโดยการกรอแต่งบริเวณหลุมและร่องฟันให้กว้างเรียบ และลดความชันของปุ่มยอดฟัน (Fissure eradication) เพื่อให้ทำความสะอาดได้ง่าย แต่คำแนะนำดังกล่าวมีข้อด้อยคือทำให้มีการทำลายผิวเคลือบฟันที่ได้ออกไป และอาจมีการตกค้างของเนื้อฟันที่ผุไว้ข้างใต้ในกรณีที่มีการมุลูกกลมถึงชั้นเนื้อฟันและวินิจฉัยผิดพลาดทำให้พิจารณากรอแต่งเฉพาะชั้นผิวเคลือบฟันเท่านั้น การใช้ฟลูออไรด์เป็นอีกความพยายามหนึ่งในการป้องกันฟันผุ รูปแบบการใช้นี้ทั้งฟลูออไรด์ทางระบบและฟลูออไรด์เฉพาะที่ จากรายงานของ Johnson (1988) พบว่าการใช้ฟลูออไรด์สามารถลดอัตราการเกิดฟันผุด้านประชิดลงร้อยละ 54 ในขณะที่สามารถลดอัตราการเกิดฟันผุด้านบดเคี้ยว ด้านใกล้แก้ม และด้านใกล้ลิ้นลงเพียงร้อยละ 32 เท่านั้น นอกจากนี้ผลการสำรวจของสถาบันวิจัยทางทันตกรรมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา ในปีค.ศ. 1986-1987 ยังแสดงให้เห็นว่าฟันผุของด้านประชิดของเด็กในพื้นที่ที่มีฟลูออไรด์ในน้ำดื่มมีร้อยละ 9 ในขณะที่เด็กในพื้นที่ที่ไม่มีฟลูออไรด์ในน้ำดื่มมีถึงร้อยละ 14 แต่ฟันผุบนด้านบดเคี้ยวของเด็กในพื้นที่ที่มีฟลูออไรด์ในน้ำดื่มมีร้อยละ 60 ในขณะที่เด็กในพื้นที่ที่ไม่มีฟลูออไรด์ในน้ำดื่มมีร้อยละ 56 ซึ่งเป็นอัตราที่ใกล้เคียงกัน จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้ฟลูออไรด์เป็นวิธีการป้องกันฟันผุที่ได้ผลเด่นชัดเฉพาะด้านผิวเรียบและให้ผลน้อยในการป้องกันฟันผุที่เกิดบนด้านบดเคี้ยว ต่อมาในราวปี ค.ศ. 1970 Bowen ได้ค้นพบวัสดุประเภทเรซินชนิดบิสจีเอ็มเอ ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน (Acid-etched technique) ที่คิดค้นโดย Buonocore เมื่อราวปี ค.ศ. 1955 พบว่าวัสดุชนิดนี้มีอัตราการยึดติดที่ดีกับผิวเคลือบฟัน จึงแนะนำให้ใช้วัสดุชนิดนี้เคลือบหลุมและร่องฟันเพื่อป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยว จากการรวบรวมผลการศึกษาวิจัยพบว่าการเคลือบหลุมและร่องฟันโดยสารเรซินสามารถลดอัตราการผุอย่างได้ผลจึงทำให้การเคลือบหลุมและร่องฟันได้รับการรับรองจากสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ในปีค.ศ. 1981 และสมาคมทันตกรรมสำหรับเด็กแห่งประเทศไทยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1983 ว่าเป็นวิธีการทางคลินิกที่ได้ผลในการป้องกันฟันผุด้านบดเคี้ยวและสนับสนุนให้ใช้การเคลือบหลุมและร่องฟันเป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมทันตกรรมป้องกันร่วมกับวิธีการทางทันตกรรมป้องกันอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย การทำความสะอาดฟันและช่องปากอย่างถูกต้อง การปรับพฤติกรรมกรับบริโภคอาหารประเภทแป้งและน้ำตาล การใช้ฟลูออไรด์ และการตรวจสุขภาพฟันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อประโยชน์สูงสุดในการป้องกันฟันผุ

## ประสิทธิภาพการป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยวของการเคลือบหลุมและร่องฟัน

กลไกการป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยวของการเคลือบหลุมและร่องฟันคือวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางทางกายภาพ ป้องกันการกักเก็บสะสมของเชื้อจุลินทรีย์และสารอาหารที่เป็นสาเหตุของการเกิดฟันผุที่บริเวณหลุมและร่องฟัน (Tinanoff, 1988) การเคลือบหลุมและร่องฟันจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุได้อย่างสมบูรณ์ ร้อยละ 100 ตราบเท่าที่วัสดุยังติดแน่นสมบูรณ์กับผิวเคลือบฟัน โดยที่ขอบทุกด้านปิดหลุมและร่องฟันแนบสนิท (NIH, 1984) กล่าวคือประสิทธิภาพในการลดอัตราการเกิดฟันผุนด้านบดเคี้ยวมีความสัมพันธ์กับอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันกับผิวเคลือบฟัน ดังจะเห็นได้จากการรวบรวมผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลดอัตราการเกิดฟันผุนด้านบดเคี้ยวและอัตราการยึดติดของการเคลือบหลุมและร่องฟันที่ไม่มีการทำซ้ำเมื่อมีการหลุดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินของ Hicks และ Flaitz (1999) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยอัตราการยึดติด อัตราการเกิดฟันผุและการลดอัตราการเกิดฟันผุในฟันกรามถาวรซี่ที่หนึ่งที่มีการเคลือบหลุมและร่องฟันเพียงครั้งเดียว

การติดตามผล (ปี)	อัตราการยึดติด (%)	อัตราการเกิดฟันผุ (%)	การลดอัตราการเกิดฟันผุ (%)
1	92	4	83
2	85	7	81
3	71	14	69
5	67	26	55
7	66	31	55
10*	53	22	68
15**	28	31	53

หมายเหตุ \*ผลการวิจัยหลังทำการเคลือบหลุมและร่องฟัน 10 ปีจาก JADA 115:31, 1987 และ J. Can. Dent. Assoc. 56:235, 1990. \*\*ผลการวิจัย 15 ปีจาก JADA 122:34, 1991. รวบรวมผลการศึกษาวิจัยจาก J. Public Health Dent. 49:317, 1989.

## วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซิน วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ และวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์

### 1. วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซิน (Resin sealants)

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินที่ใช้ในปัจจุบันเป็นสารประเภทไดเมทาครีเลท (Dimethacrylate) เช่น บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของบิสฟีนอลเอ (Bisphenol A) และไกลซิديلเมทาครีเลท (Glycidyl methacrylate) หรือ ยูรีเทนไดเมทาครีเลท (Urethane dimethacrylate) (ดาร์ณี, 2538; Mitchell และ Gordon, 1990) บิสจีเอ็มเอ เป็นสารประกอบหลักของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซิน แต่เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีความหนืดสูงมาก จึงต้องมีการผสมกับโมโนเมอร์ เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท (Triethylene glycol dimethacrylate : TGDMA) เพื่อให้มีความข้นพอเหมาะนอกจากนี้ยังมีการเติมสารประกอบที่ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการแข็งตัว (Polymerization) ถ้าหากเป็นวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันแบบปฏิกิริยาการแข็งตัวเกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงที่มองเห็นได้ (Visible light initiated polymerization) จะมีไดคีโตน (Diketone) เช่น แคมโฟโรควิโนน (Camphoroquinone) เป็นสารตั้งต้นและมีอะลิฟาติกเอมีน (Aliphatic amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันแบบปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (Chemical polymerization) มีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) เป็นสารตั้งต้นและมีอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และยังสามารถเติมองค์ประกอบอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการเช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ซึ่งทำให้มีสีขาวสามารถมองเห็นได้ในช่องปากเพื่อใช้ในการประเมินการยึดอยู่ของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน หรือการเติมวัสดุอัดแทรก (Filler) เช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) ควอทซ์ (Quartz) พอร์ซเลน (Porcelain) และแก้ว (Glass) เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแข็ง ความต้านทานต่อการสึกกร่อน และลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อน (ศิริรักษ์ และคณะ, 2544: Ferracane, 1995: Hicks และ Flaitz, 1999) ตัวอย่างของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินและบริษัทผู้ผลิตที่ได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2002 (ADA, 2002) แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินที่ได้รับการยอมรับจาก ADA

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน	บริษัทผู้ผลิต
<b>วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่ได้รับการยอมรับ</b>	
Alpha Fluor Seal II	Confi-Dental Products Co.
Alpha-Dent Chemical Cure	Alpha-Dental Products Co.
Alpha-Dent Light Cure	Alpha-Dental Products Co.
Concise Light Cure White Sealant	3M Dental Products Division
Concise White Sealant	3M Dental Products Division
Helioseal	Ivoclar North America
PrismaShield	Dentsply LD Caulk Division
Seal-Rite	Pulpdent Corporation
<b>วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันอื่น ๆ</b>	
Estiseal LC	Heraeus Kulzer Inc.
Fluroseal	Scientific Pharmaceuticals Inc.
FluRestore	DenMat Corporation
Total-Seal Pit and Fissure Sealant	American Dental Hygienics

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินเป็นวัสดุชนิดของเหลวมีส่วนประกอบของโมโนเมอร์มาก ทำให้มีการไหลแผ่ แทรกซึมที่ดีและสามารถยึดติดกับผิวเคลือบฟันด้วยการยึดติดแบบเชิงกล (Mechanical retention) โดยให้เทคนิคการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยการกรด (Acid etch technique) เพื่อให้เกิดรูพรุน (Porous zone) และมีวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนเหล่านั้นเรียกว่า เรซินแท็ก (Resin tag) จากเทคนิคดังกล่าวทำให้วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินมีอัตราการยึดติดที่ดีสามารถทำหน้าที่ป้องกันฟันผุนด้านหลุมและร่องฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพจนเป็นวัสดุที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับ ดังจะเห็นได้จากผลศึกษาที่ยาวนานเกี่ยวกับคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุชนิดนี้ ดังปรากฏในรายงานการรวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันแบบปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีของ Ripa (1993) และจากรายงานการรวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินที่ไม่มีการทำซ้ำเมื่อมีการหลุดของวัสดุของ Hicks และ Flaitz (1999) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ยอัตราการยึดติดตามระยะเวลาติดตามผล : รวบรวมผลการ  
ศึกษาวิจัยโดย Ripa (1993) และ Hicks และ Flaitz (1999)

ระยะเวลาติดตามผล (ปี)	อัตราการยึดติด (ร้อยละ) Ripa (1993)	อัตราการยึดติด (ร้อยละ) Hicks และ Flaitz (1999)
1	83	92
2	83	85
3	72	71
5	67	67
7	66	66
10	-	53
15	-	28

การทดสอบคุณสมบัติการยึดติดในห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยวและการ  
รั่วซึมของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทนี้พบว่ามีรายงานการศึกษาอย่างมากมายทั้งที่เป็น  
ไปในทางเดียวกันและขัดแย้งกัน เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ได้ต่างกันเช่น  
วัสดุของแต่ละบริษัทจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนประกอบหลักของวัสดุเคลือบหลุม  
และร่องฟันประเภทเรซินแบ่งเป็นแบบบิสฟีเอ็มเอ เช่น Delton Concise และแบบยูรีเทน เช่น  
Helioseal วัสดุทั้ง 3 ชนิดมักถูกนำมาเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวบ่อยครั้งหรือเปรียบเทียบกับวัสดุที่  
ผลิตขึ้นมาใหม่ Garcia-Godoy และคณะ (1996) ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของ Helioseal Delton  
Concise PrismaShield และ FluroShield โดยเตรียมผิวเคลือบฟันให้เรียบ ใช้กรดฟอสฟอริก  
ความเข้มข้นร้อยละ 37 กัดเป็นเวลา 30 วินาที ล้างน้ำ 20 วินาที เป่าแห้ง 20 วินาที หลังจากนั้นติดท่อพลาสติกขนาดพื้นที่ 5.25 ตารางมิลลิเมตร ใส่วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน การฉาย  
แสงแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ 20 วินาทีและ 60 วินาที แล้วนำไปผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิกที่อุณหภูมิ  
5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ ได้ผลค่าแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุทั้ง 5 ชนิดดังกล่าวข้าง  
ต้นของการฉายแสง 20 วินาทีคือ 18.74 14.59 16.50 20.02 และ 15.46 เมกกะปาสคาล ตาม  
ลำดับ และการฉายแสง 60 วินาทีคือ 18.17 13.33 16.30 16.65 และ 20.80 เมกกะปาสคาล  
ตามลำดับ ผลการทดสอบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งเวลาที่ใช้ฉายแสงและ  
ชนิดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Osorio และคณะ (1996)  
ทดสอบ Delton Helioseal Concise autocured Concise lightcured และ FluroShield โดย

เตรียมผิวเคลือบฟันให้เรียบ ใช้กรดกัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ 20 วินาทีและ 60 วินาที ล้างน้ำ 30 วินาที เป่าแห้งและติดท่อพลาสติก ใส่วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน ฉายแสง 40 วินาทีแล้วนำไปผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิกที่อุณหภูมิ 6 และ 60 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ ได้ผลค่าแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุทั้ง 5 ชนิดดังกล่าวข้างต้นของการใช้กรดกัด 20 วินาทีคือ 17.6 15.4 14.1 18.9 และ 31.5 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ และการใช้กรดกัด 60 วินาทีคือ 22.3 20.9 18.3 17.4 และ 30.1 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ผลการทดสอบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งสองการทดลองได้ค่าแรงยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่าง 13–20 เมกกะปาสคาลเป็นส่วนใหญ่ ต่างจากการศึกษาของ Lajarin และคณะ (2000) ทดสอบ Helioseal และ Concise โดยเตรียมผิวเคลือบฟันให้เรียบ ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 กัดเป็นเวลานาน 20 วินาที ล้างน้ำ 40 วินาที เป่าแห้งและติดท่อพลาสติกขนาดพื้นที่ 10.74 ตารางมิลลิเมตร ใส่วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน ฉายแสง 40 วินาที ได้ผลค่าแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุคือ 4.917 และ 5.265 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ

การทดสอบการรั่วซึมของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินที่มีส่วนประกอบของวัสดุหรือการเตรียมการทดลองที่ต่างกัน อาจทำให้ได้ผลการทดลองในแต่ละครั้งต่างกันได้เช่น การศึกษาการรั่วซึมของ Theodoridou-pahini และคณะ (1996) ทดสอบการรั่วซึมของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินจำนวน 5 ชนิด คือ Helioseal Concise Durafil Fissurit และ Sci-Pharm โดยขยายร่องฟันบนด้านบดเคี้ยวลึก 0.5 มิลลิเมตรและทาว์วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันตามคำแนะนำของแต่ละบริษัทแล้วนำไปผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิกที่อุณหภูมิ 5 37 60 และ 37 องศาเซลเซียส จำนวน 2000 รอบ พบว่าวัสดุแต่ละชนิดมีค่าเฉลี่ยการรั่วซึมใกล้เคียงกัน ยกเว้น Concise มีค่าเฉลี่ยการรั่วซึมมากที่สุด แตกต่างจากการศึกษาของ Ovrebø และ Raadal (1990) ที่ทดสอบการรั่วซึมของ Concise เปรียบเทียบกับ Fuji III โดยทำการเคลือบหลุมและร่องฟันในช่องปากจากนั้นถอนฟันออกมาทดสอบระดับการรั่วซึม พบว่า Concise ไม่มี การรั่วซึมร้อยละ 93 และรั่วซึมเพียงเล็กน้อยร้อยละ 7 Hatibovic-Kofman และคณะ (1998) ศึกษาเปรียบเทียบการรั่วซึมของวัสดุประเภทเรซินชนิดที่มีวัสดุอัดแทรก (PrismaShield) และไม่มีวัสดุอัดแทรก (Delton) โดยแช่ฟันในน้ำลายเทียมที่ 38 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วันแล้วนำไปผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิกที่อุณหภูมิ 6 และ 47 องศาเซลเซียส จำนวน 2000 รอบ พบว่า PrismaShield มีการรั่วซึมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Park และคณะ (1993) ที่เตรียมการทดลองโดยนำฟันผ่านขบวนการเทอร์โมไซคลิกที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ พบว่า PrismaShield และ Delton มีการรั่วซึมไม่แตกต่างกัน

## 2. วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์ (Glass Ionomer sealants)

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์ ประกอบด้วย ผงอลูมิเนียมซิลิเกตกlasses (Aluminosilicate glass powders) และสารละลายกรดโพลีอัลคีนีลคาบออกซีลิก (Aqueous solutions of polyalkenylcarboxylic acid) ซึ่งนำเสนอโดย McLean และ Wilson ในปี ค.ศ. 1974 ให้ใช้เป็นวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันโดยเสนอว่า วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์มีประโยชน์ในการป้องกันฟันผุสองทางคือการทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางทางกายภาพป้องกันการสะสมของสาเหตุของการเกิดฟันผุคือเชื้อจุลินทรีย์และอาหารที่บริเวณหลุมและร่องฟัน และการป้องกันฟันผุจากผลของฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุประเภทนี้ ประโยชน์ของฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา มีหลายประการคือ ส่งเสริมผิวเคลือบฟันข้างเคียงให้มีความต้านทานต่อการผุ โดยวัสดุจะปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกนอกมาและแทรกซึมเข้าไปในผิวเคลือบฟันข้างเคียง จากนั้นมีการแลกเปลี่ยนกับไอออนลบและกลายเป็นสารประกอบที่ทนต่อความเป็นกรดมากขึ้น (ศิริรักษ์, 2532; McLean และ Wilson, 1974; Erickson และ Glasspoole, 1995; Hicks และ Flaitz, 1992, 1999) และมีการสะสมแร่ธาตุคืนกลับในผิวเคลือบฟันที่สูญเสียแร่ธาตุเพื่อป้องกันการผุกลามต่อ (Erickson และ Glasspoole, 1995; Hicks และ Flaitz, 1992, 1999) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตและลดจำนวนของเชื้อแบคทีเรียลงได้ (Cariostatic property) (Hicks และ Flaitz, 1992, 1999) วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทนี้ยังมีลักษณะเด่นอีกคือ มีแรงยึดทางเคมีพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับทั้งผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน อีกทั้งยังลดขั้นตอนการทำงานโดยไม่ต้องใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน (ศิริรักษ์, 2532)

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์นี้มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการดังได้กล่าวข้างต้น แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะมีคุณสมบัติการยึดติดน้อยกว่าวัสดุประเภทเรซินดังปรากฏในผลการวิจัยหลายฉบับ การศึกษาของ Boksmann และคณะ (1987) เก็บข้อมูล 6 เดือนหลังทำพบว่าวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์ (Fuji III) มีอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์ร้อยละ 1.7 ในขณะที่วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซิน (Concise) มีอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์มากถึงร้อยละ 92.2 อย่างไรก็ตาม Hicks และ Flaitz (2000) ได้กล่าวว่าถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์นี้ออกไปทั้งหมด แต่ยังพบการตกค้างของวัสดุในส่วนลึกของหลุมและร่องฟันและวัสดุที่ตกค้างนี้ยังคงสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์และให้ผลในการป้องกันการเกิดฟันผุได้ การศึกษาของ McLean และ Wilson (1974) ใช้วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกlasses ไอโอโนเมอร์ (ASPA II) พบอัตราการยึดติดร้อยละ 84 ในปีที่ 1 และร้อยละ 78 ในปีที่ 2 แต่การทดลองนี้เลือก



ใช้วัสดุชนิดนี้กับหลุมและร่องฟันที่มีความกว้างตั้งแต่ 100 ไมโครเมตรขึ้นไปทำให้อัตราการยึดติดค่อนข้างสูง การศึกษาของ Songpaisan และคณะ (1995) ผู้วิจัยเลือกใช้ Fuji III เก็บข้อมูล 6 เดือนหลังทำ พบว่า Fuji III มีอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์ร้อยละ 2-8 เทียบกับ Delton ซึ่งพบว่าอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์มากถึงร้อยละ 92 ส่วนการศึกษาของ Karlzen-Reuterving และ van Dijken (1995) ใช้วัสดุชนิดเดียวกันคือ Fuji III เก็บข้อมูล 6 เดือน 1 2 และ 3 ปี พบว่าอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์ร้อยละ 79.7 72.2 43.1 และ 27.8 ตามลำดับ เทียบกับ Delton ที่มีอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์ร้อยละ 98.7 97.2 90.3 และ 79.2 ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะพบว่าอัตราการยึดติดแน่นอย่างสมบูรณ์ของ Fuji III ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ Delton และการศึกษาเดียวกันนี้ยังรายงานด้วยว่าอัตราการเกิดฟันผุของ Delton มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.2 ในขณะที่ Fuji III มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.4 แสดงว่าวัสดุประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ลดอัตราการเกิดฟันผุได้มากกว่าวัสดุประเภทเรซิน

การทดสอบคุณสมบัติการยึดติดในห้องปฏิบัติการพบว่าแรงยึดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกลาสไอโอโนเมอร์กับผิวเคลือบฟันว่ามีค่าเท่ากับ 4.3 เมกกะปาสคาล (อ้างถึงใน Boksman และคณะ, 1987) Ovrebo และ Raadal (1990) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติการรั่วซึมของ Fuji III พบว่ามีการรั่วซึมที่มากกว่า Concise อย่างมีนัยสำคัญ โดยได้ทำการเคลือบหลุมและร่องฟันในช่องปากแล้วจึงถอนฟันออกมาแช่สีย้อมเพื่อดูระดับการรั่วซึมและยังพบอีกว่า Fuji III มีการรั่วซึมที่มากตลอดแนวสัมผัสของวัสดุกับผิวเคลือบฟัน ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Theodoridou-pahini และคณะ (1996) ซึ่งทำการทดลองในห้องปฏิบัติการทั้งหมด โดยทำการขยายหลุมและร่องฟันให้กว้างขึ้นก่อนแล้วจึงทำการเคลือบหลุมและร่องฟัน พบว่า Concise มีอัตราการรั่วซึมที่มากกว่า Fuji III อาจเป็นเพราะการขยายหลุมและร่องฟันซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ทำให้มีอัตราการรั่วซึมน้อยกว่าวัสดุประเภทเรซิน (McLean และ Wilson, 1974)

### 3. วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ (Fluoridated resin sealants)

ในปัจจุบันได้มีการดัดแปลงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินซึ่งมีอัตราการยึดติดที่ดีให้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุของวัสดุประเภทนี้ให้มากขึ้น ดังนั้นวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์จึงควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ มีอัตราการยึดติดที่ดีกว่าหรืออย่างน้อยเท่ากับวัสดุประเภทเรซิน และสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้คงที่เป็นเวลานาน การดัดแปลงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันให้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ทำได้ 2 วิธีคือ

3.1 การเติมฟลูออไรด์ลงในสารประกอบเรซินที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา (Unpolymerized resin) ในรูปของเกลือฟลูออไรด์ (Soluble fluoride salt) หรือวัสดุประเภทแก้วที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ (Leachable glass) (Rawls, 1985; Jensen, Billings และ Featherstone, 1990; Rawls, 1991; Morphis, Toumba และ Lygidakis, 2000)

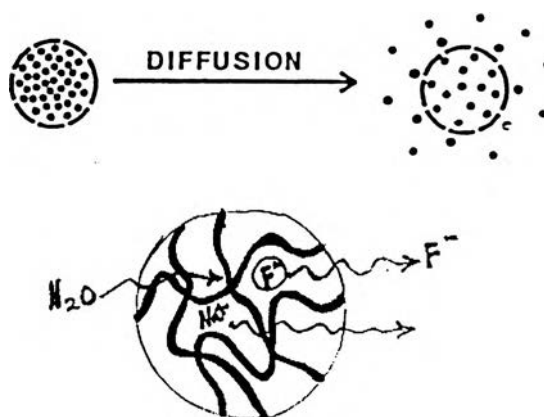
การดัดแปลงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันเพื่อให้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ในช่วงแรกทำโดยการเติมเกลือฟลูออไรด์ เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) หรืออะซิดูเลทโซเดียมฟลูออไรด์ (Acidulated NaF) ลงในสารประกอบโพลีเมอร์ที่พบว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงถึง 30 วัน และยังพบว่าการเติมอะซิดูเลทโซเดียมฟลูออไรด์ให้ผลที่ดีกว่า (Lee และคณะ, 1971 อ้างถึงใน Morphis และคณะ, 2000) ต่อมา Swartz และคณะ (1976) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยเติมเกลือโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2-5 ลงในวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet polymerized pit and fissure sealants : Nuva-Seal) พบว่าสามารถลดการละลายของผิวเคลือบฟันในสารละลายกรด และจากการทดลองยังพบว่าการเติมเกลือชนิดนี้ไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุเสียหายหรือด้อยลง ทั้งแรงดึง แรงยึดเหนี่ยว การรั่วซึม การดูดน้ำ ความแข็งผิว และสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้มากใน 1-2 วันแรกจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว การทดลองที่คล้ายคลึงกันคือการศึกษาของ El-Mehdawi และคณะ (1985) ซึ่งทดลองเติมโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 0.2 0.5 และ 2 ลงใน Nuva-Seal เช่นกัน พบว่ามีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ถึง 3 สัปดาห์ ส่วนการศึกษาของ Roberts และคณะ (1984) ทำการเติมผงโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.1 0.25 1.0 และ 2.5 ลงในเดลทอนแบบปฏิกิริยาการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (Delton : chemical polymerization) พบว่ามีการปลดปล่อยฟลูออไรด์นานถึง 180 วันตามระยะเวลาของการทดลอง ปัจจุบันนี้มีการผลิตวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์โดยหลักการนี้ออกจำหน่าย โดยมีชนิดที่เติมโซเดียมฟลูออไรด์ เช่น

FluroShield Delton Plus และ Fissurit F และชนิดที่เติมวัสดุประเภทแก้วที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ เช่น Helioclear F และ Delton FS ซึ่ง Helioclear F เติม Fluorosilicate glass และ Delton FS เติม Fluoroborosilicate glass ตัวอย่างวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์และบริษัทผู้ผลิตที่ได้รับการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2002 (ADA, 2002) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ที่ได้รับการยอมรับจาก ADA

วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟัน	บริษัทผู้ผลิต
วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่ได้รับการยอมรับ	
Baritone L3, Type II	Confidental Products Co.
Helioclear F, Type II	Ivoclar-Vivadent, Inc
วัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันอื่น ๆ	
FluroShield	Dentsply LD Caulk Division
Denton Plus / Delton FS	Dentsply LD Caulk Division
Ultrasal XT	Ultradent
Fissurit	Voco.

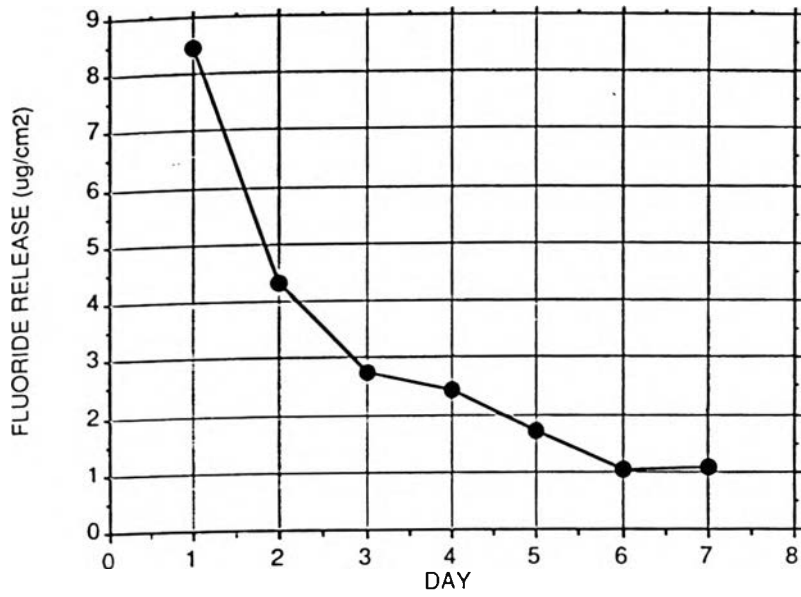
กลไกในการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สันนิษฐานว่าเป็นขบวนการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยการเติมเกลือฟลูออไรด์หรือวัสดุประเภทแก้วที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ที่เติมลงไปในส่วนผสมจะยึดกับโมเลกุลของเรซิน โดยมีแรงยึดแบบอ่อน (Not tightly bound) (El-Mehdawi และคณะ, 1985) เมื่อเรซินมีการดูดน้ำและมีน้ำแพร่เข้าไประหว่างโมเลกุล น้ำจะไปละลายเกลือฟลูออไรด์หรือวัสดุประเภทแก้วที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ ทำให้มีฟลูออไรด์ไอออนแพร่ออกมาออกวัสดุได้ (Rawls, 1985, 1991) ดังภาพ 1



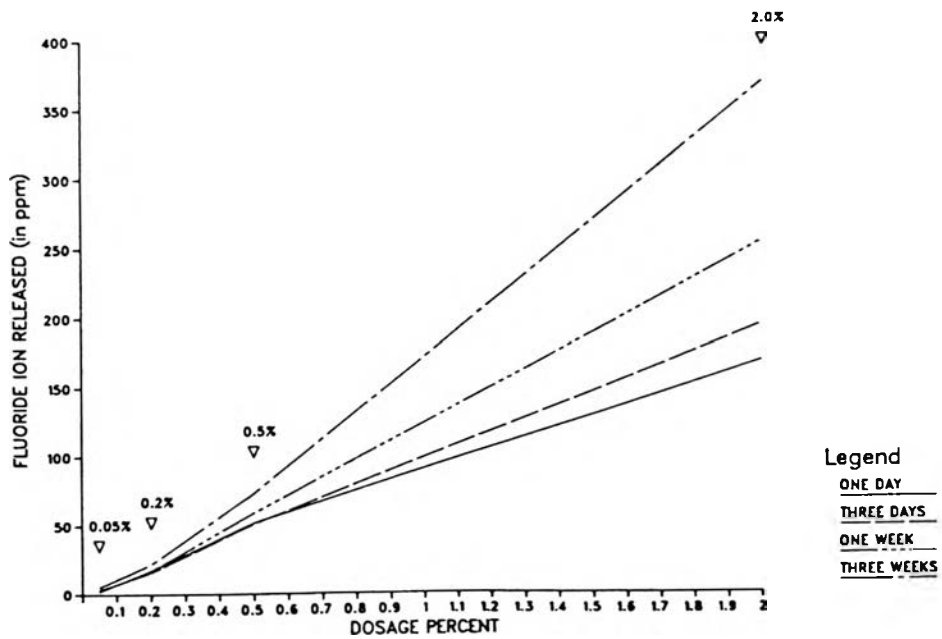
ภาพที่ 1 การแพร่และกลไกการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนของเกลือฟลูออไรด์

รูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่เติมเกลือไฮดรอกซีอะปาทิตหรือวัสดุประเภทแก้วที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ รูปแบบนี้เรียกว่า เบิร์ชท์เอฟเฟค (Burst effect) คือลักษณะที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์อย่างมากที่สุดใน 24 ชั่วโมงแรก หลังวัสดุแข็งตัวเต็มที่และการปลดปล่อยลดลงอย่างมากในวันที่สอง จากนั้นการปลดปล่อยยังคงลดลงเรื่อย ๆ อย่างช้า ๆ ต่อไป ตัวอย่างการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ FluroShield แบบเบิร์ชท์เอฟเฟคดังการศึกษาของ Cooley และคณะ (1990) (ภาพที่ 2) Garcia-Godoy และคณะ (1997) ให้ข้อสันนิษฐานว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ยังแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นปลดปล่อยฟลูออไรด์ปริมาณมากจากส่วนผิวของวัสดุ ต่อมาเป็นการค่อย ๆ แพร่ของฟลูออไรด์ไอออนออกจากระหว่างโมเลกุลเรซินข้างในวัสดุ นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่มีการเติมฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่า จะทำให้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ปริมาณที่มากกว่าด้วย (Roberts และคณะ, 1984; El-Mehdawi และคณะ, 1985) ดังภาพที่ 3 และยังพบว่าในระยะแรกของการเติมฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะปลดปล่อยฟลูออไรด์ปริมาณที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หลังจากปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมานานระยะหนึ่ง ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่น การศึกษาของ Roberts และคณะ (1984) เติมไฮดรอกซีอะปาทิตความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.1 0.25 1.0 และ 2.5 ลงในเคลททอน เก็บผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ระยะเวลา 1 วัน 2-7 วัน 8-30 วัน 31-90 วันและ 91-180 วัน ดังตารางที่ 5

Fluoride Release from FluroShield



ภาพที่ 2 การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ FluroShield



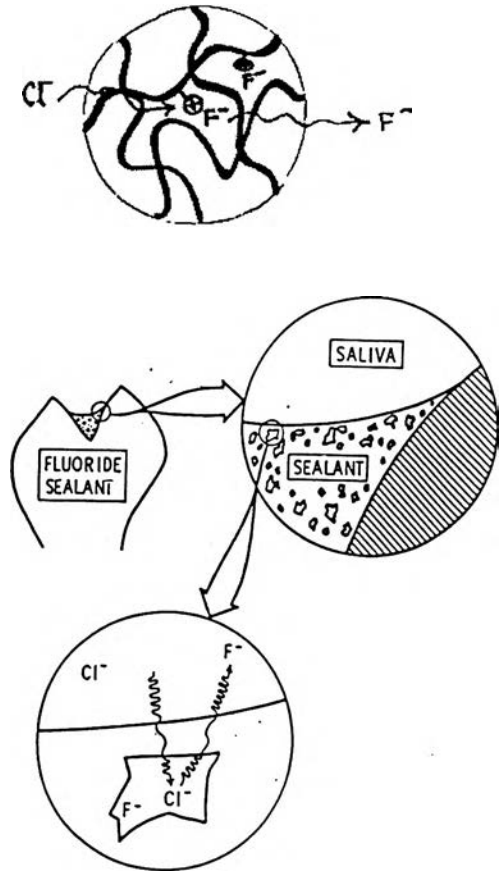
ภาพที่ 3 การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากการเติมไฮเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 0.2 0.5 และ 2 ลงใน Nuva-Seal

ตารางที่ 5 แสดงการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (มิลลิกรัม) ตามระยะเวลาที่กำหนด

เติม NaF	1 วัน	2-7 วัน	8-30 วัน	31-90 วัน	91-180 วัน
0.00%	0.60	0.070	0.010	0.010	0.005
0.1%	4.75	0.105	0.025	0.020	0.010
0.25%	13.05	0.345	0.060	0.035	0.015
1.0%	61.35	0.985	0.150	0.085	0.035
2.5%	95.55	1.635	0.270	0.033	0.040

**หมายเหตุ** เส้นขีดทึบแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เส้นขีดแยกกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากตารางจะพบว่าการเติมโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 จะปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อถึงวันที่ 91-180 พบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 2.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2 การเติมสารประกอบฟลูออไรด์อินทรีย์ (Organic fluoride compound) ในโมโนเมอร์ให้ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของเรซิน การปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนเกิดจากการที่มีไอออนลบแพร่เข้ามาในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเรซิน (Matrix) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยไอออนลบไปแทนที่ฟลูออไรด์ไอออนและฟลูออไรด์ไอออนถูกปลดปล่อยออกมา หลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนลบโมเลกุลมีการเรียงตัวใหม่ (Re-organize) แต่โครงสร้างของเรซินยังคงเดิม ขบวนการนี้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนไอออน (Anion exchange system) (Rawls, 1985, 1991; Morphis และคณะ, 2000) ดังภาพที่ 4

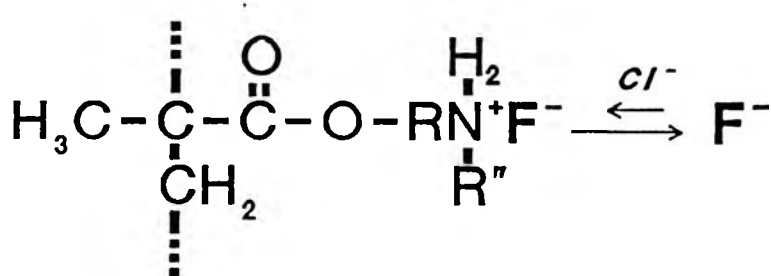


ภาพที่ 4 การแลกเปลี่ยนไอออนและการแพร่ออกของฟลูออไรด์ไอออน

สารประกอบเรซินฟลูออไรด์ที่มีการทดลองเติมในโมโนเมอร์ มี 3 กลุ่ม ได้แก่ Acrylic-amine HF salt Acrylic-amine BF<sub>3</sub> Lewis salt และ Methacryloyl fluoride (Rawls, 1991)

สารประกอบเรซินฟลูออไรด์กลุ่มแรกที่นำมาทดลองใช้คือเกลือไฮโดรเจนฟลูออไรด์อะครีลิกเอมีน (Acrylic-amine HF salt) เช่น สารประกอบที่บิวทิลอะมิโนเอทิลเมทาครีเลทไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (T-butyl-amino-ethylmethacrylate hydrogen fluoride : t-BAEMA : HF) โมโนเมอร์ฟลูออไรด์ชนิดนี้มีการเติมฟลูออไรด์ไอออน ซึ่งเป็นประจุที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile charge) ลงในเรซินโมโนเมอร์ตัวอื่น ๆ จนเป็นสารประกอบเรซิน โมโนเมอร์ฟลูออไรด์ชนิดนี้มีเกลือฟลูออไรด์ซึ่งยึดกับโครงสร้างเรซินแบบพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) จนกระทั่งมีไอออนลบเช่น คลอไรด์ไอออน (Cl<sup>-</sup>) จากน้ำลายเข้ามาแทนที่ฟลูออไรด์ไอออนและฟลูออไรด์ไอออนหลุดออกจากโมเลกุลและแพร่ออกจากเรซินเป็นการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Rawls และ Querens, 1980; Querens และ Rawls, 1982; Rawls และ Zimmerman, 1983; Zimmerman, Rawls และ Querens, 1984) ดังภาพที่ 5 การพัฒนาโมโนเมอร์ฟลูออไรด์กลุ่มนี้มีหลายรุ่น (Rawls, 1987)

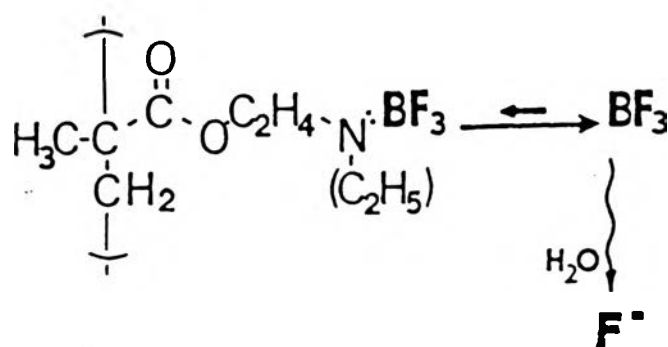
รุ่นแรกคือที่บิวทิลอะมิโนเอทิลเมทาครีเลทไฮโดรเจนฟลูออไรด์ผสมกับโมโนเมอร์ตัวอื่น เช่น ไกลซิดีลเมทาครีเลท (Glycidyl methacrylate : GMA) แต่ไกลซิดีลเมทาครีเลทเป็นพิษต่อร่างกายและทำให้มีการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม (Mutagenic) (Querens, Murray และ Rawls, 1981) ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนเป็นเอทิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลท (Ethylene glycol dimethacrylate : EGDMA) ผลการทดลองพบว่า เรซินฟลูออไรด์นี้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ 1 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวันในสัปดาห์แรก หลังจากนั้นมีการปลดปล่อยในอัตราที่ลดลงอย่างมาก เรซินฟลูออไรด์รุ่นแรกนี้มีข้อด้อยคือมีการดูดน้ำมากและสีไม่คงที่ จึงได้พัฒนาเป็นรุ่นสองซึ่งได้รับการแก้ไขข้อด้อยของโมโนเมอร์รุ่นแรก เรซินฟลูออไรด์รุ่นสองนี้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้เพียง 0.005 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน (Rawls, 1987) อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าเรซินฟลูออไรด์รุ่นสองนี้สามารถป้องกันการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (Deminerallization) ของผิวเคลือบฟันข้างเคียงได้มากกว่าซิลิเกตซีเมนต์ (Silicate cement) และเป็นแหล่งของฟลูออไรด์ที่จะสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ลงสู่ผิวเคลือบฟันกระตุ้นให้มีการสะสมแร่ธาตุคืนกลับ (Zimmerman, Rawls และ Querens, 1984) เรซินฟลูออไรด์รุ่นสามจะถูกผสมลงในวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินคือ Delton พบว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ 0.016 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวันเป็นเวลา 3 เดือน หลังจากนั้นจะปลดปล่อยในอัตราที่ลดลง คุณสมบัติทางกายภาพคือความแข็งเพิ่มขึ้น (Zimmerman, Rawls และ Bassett, 1984) และการละลายไม่แตกต่างจากเรซินที่ไม่เติมเรซินฟลูออไรด์ (Rawls, 1987)



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของเรซินฟลูออไรด์และการแลกเปลี่ยนไอออน



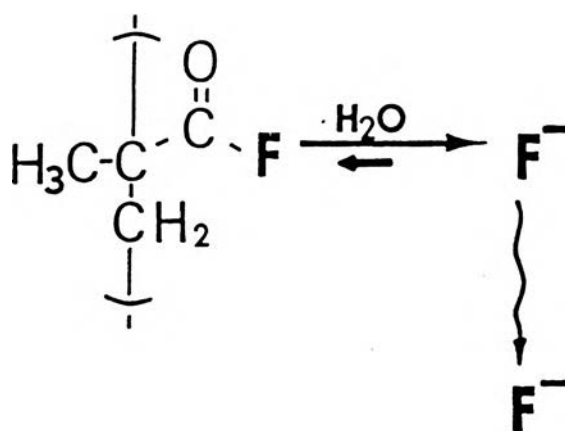
สารประกอบเรซินฟลูออไรด์กลุ่มที่สองคือเกลือเลวิสบอโรนไตรฟลูออไรด์อะครีลิกเอมีน (Acrylic-amine  $\text{BF}_3$  Lewis salt) ทำปฏิกิริยากับบิสจีเอ็มเอเรซิน การปลดปล่อยฟลูออไรด์เกิดจากรีซินเข้าสู่สมดุลย์ และสารประกอบบอโรนไตรฟลูออไรด์ ( $\text{BF}_3$ ) จะแยกออกจากอะครีลิกเอมีน และหลังจากการเกิดขบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะได้ฟลูออไรด์ไอออนแพร่ออกจากเรซิน (Rawls, 1991) ดังภาพที่ 6 การศึกษาของ Capilouto, DePaola และ Gron (1990) ทดลองหาเรซินที่เติมบอโรนไตรฟลูออไรด์ (Boron trifluoride Bis GMA resin material) บนด้านใกล้แก้มของฟันกรามน้อย หลังจากนั้นวัดปริมาณฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันพบว่าปริมาณฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันที่ทำด้วยสารทดสอบจะสูงกว่าปริมาณฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันของกลุ่มควบคุมที่ความลึก 20 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่า 785 ส่วนในล้านส่วน (Part per million : ppm) และที่ความลึก 50 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่า 596 ส่วนในล้านส่วน



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของเกลือเลวิสบอโรนไตรฟลูออไรด์อะครีลิกเอมีนและการปลดปล่อยฟลูออไรด์

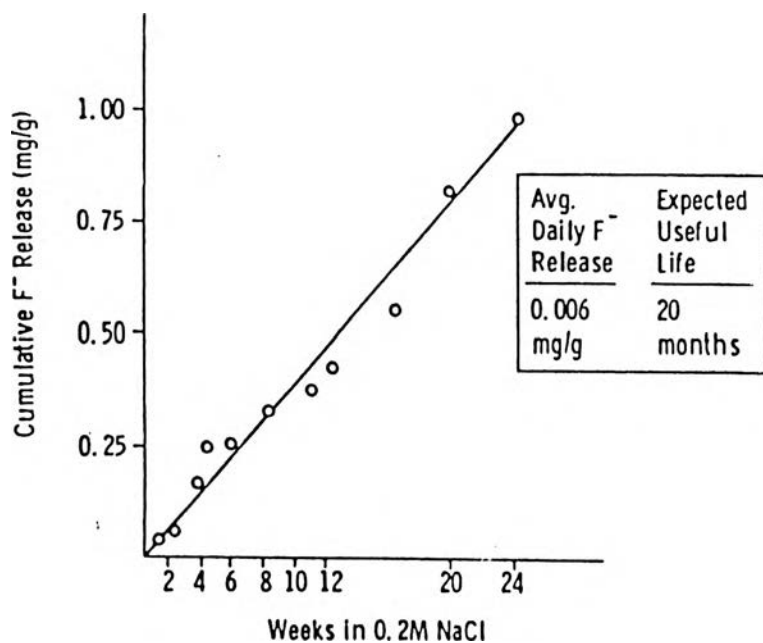
สารประกอบเรซินฟลูออไรด์กลุ่มที่สามคือเมทาครีลิลฟลูออไรด์ (Methacryloyl fluoride : MF) ทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาครีเลท (Methyl methacrylate : MMA) โดยฟลูออไรด์ยึดด้วยพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) และเมื่อน้ำแพร่เข้ามาในโมเลกุลเกิดขบวนการไฮโดรไลซิส ทำให้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออนขึ้นและแพร่ออกจากเรซิน (Tanaka และคณะ, 1987; Rawls, 1991; Morphis และคณะ, 2000) ดังภาพที่ 7 การศึกษาของ Tanaka และคณะ (1987) ทดลองหาวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่เติมกรดฟลูออไรด์ (MF-MMA copolymer) บนด้านใกล้แก้มของฟันกรามน้อย หลังจากนั้นวัดปริมาณฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันที่ความลึกต่าง ๆ ของกลุ่มที่ทาว์สตุเคลือบหลุมและร่องฟันที่เติมกรดฟลูออไรด์และกลุ่มที่ทาว์สตุที่ไม่เติมกรดฟลูออไรด์ พบว่ากลุ่มทาว์สตุที่เติมกรดฟลูออไรด์มีความเข้มข้นของ

ฟลูออไรด์ที่ระดับลึกจากผิวเคลือบฟัน 10 ไมโครเมตร มีค่า 3500 ส่วนในล้านส่วนและลึกจากผิวเคลือบฟัน 60 ไมโครเมตร มีค่า 1700 ส่วนในล้านส่วน ส่วนกลุ่มที่ทาวด์ที่ไม่เติมกรดฟลูออไรด์มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ระดับความลึกจากผิวเคลือบฟัน 10 ไมโครเมตร มีค่า 650 ส่วนในล้านส่วนและลึกจากผิวเคลือบฟัน 60 ไมโครเมตร มีค่า 200 ส่วนในล้านส่วน นอกจากนี้มีรายงานว่าอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินชนิดนี้คืออัตราร้อยละ 4 ต่อเดือน เพราะฉะนั้นเรซินชนิดนี้อาจมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้นานถึง 2 ปี (Kadoma และคณะ, 1983 อ้างถึงใน Tanaka และคณะ, 1987) ตัวอย่างวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ชนิดนี้ที่ผลิตออกจำหน่ายคือ Teethmate F-1 ของบริษัท Kuraray ประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของ MF-MMA copolymer และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออน

รูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของระบบการแลกเปลี่ยนไอออน Rawls (1987) รวบรวมจากหลายการศึกษาพบว่าอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินฟลูออไรด์ชนิดนี้ค่อนข้างคงที่ เช่น การทดลองที่รวบรวมปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาของทีบิวทิลอะมิโนเอทิลเมทาครีเลทไฮโดรเจนฟลูออไรด์ชนิด FR-5 จากเริ่มทดลองจนถึง 24 สัปดาห์ กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินชนิดนี้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ดังภาพที่ 8 เช่นเดียวกับการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของทีบิวทิลอะมิโนเอทิลเมทาครีเลทไฮโดรเจนฟลูออไรด์ชนิด FR-10 จากเริ่มการทดลองจนถึง 16 สัปดาห์พบว่าอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน ดังตารางที่ 6



ภาพที่ 8 กราฟแสดงการรวบรวมปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาของ FR-5

ตารางที่ 6 อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ FR-10 เทียบกับเดลทอน (มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน)

เรซิน	สัปดาห์	อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์
FR-10	0	-
	1	0.24
	3	0.17
	16	0.20
DELTON	0	-
	1	-
	3	-
	16	0.00

## การป้องกันฟันผุของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์

ประโยชน์ของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการบุกรุกของผิวเคลือบฟันข้างเคียงโดยยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุตั้งการศึกษาของ Jensen และคณะ (1990) และ Hicks และ Flaitz (1992) พบว่าผิวเคลือบฟันข้างเคียงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์มีความสึกกร่อนน้อยกว่าผิวเคลือบฟันข้างเคียงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินไม่ผสมฟลูออไรด์ และฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมายังส่งเสริมการสะสมแร่ธาตุเพิ่มขึ้นในผิวเคลือบฟันตั้งการศึกษาของ Swartz และคณะ (1976) ผลการทดลองพบว่าปริมาณฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันใต้เรซินที่ผสมโซเดียมฟลูออไรด์มีปริมาณฟลูออไรด์มากกว่าในผิวเคลือบฟันปกติข้างเคียงที่ไม่มีเรซินชนิดนี้เคลือบทับเช่นเดียวกับการศึกษาของ Tanaka และคณะ (1987) พบว่าผิวเคลือบฟันใต้เรซินฟลูออไรด์และผิวเคลือบฟันปกติข้างเคียงที่ความลึก 10 ไมโครเมตร มีปริมาณฟลูออไรด์ 3500 และ 650 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ และที่ความลึก 60 ไมโครเมตร มีปริมาณฟลูออไรด์ 1700 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับเช่นกัน นอกจากนี้ Loyola-Rodriguez และ Garcia-Godoy (1996) ยังพบว่าฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ (Teethmate-F) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อไมวแทนส์ สเตร็ปโตคอคคัส (mutans Streptococci) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดฟันผุได้

## การศึกษาคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์

การดัดแปลงวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินเพื่อให้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้นั้นอาจมีผลต่อคุณสมบัติในการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซิน จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์พบว่ามีไม่มาก และในการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์กับวัสดุประเภทเรซินไม่ผสมฟลูออไรด์มักเป็นการเปรียบเทียบวัสดุของต่างบริษัท ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบและคุณสมบัติพื้นฐานที่แตกต่างกันอยู่แล้ว ทำให้ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าการเติมฟลูออไรด์ในวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์มีผลต่อคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุประเภทนี้หรือไม่ การศึกษาที่เกี่ยวกับอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ได้แก่ การศึกษาอัตราการยึดติดอย่างสมบูรณ์ของเฮลิโอซิลเอฟในฟันกรามน้ำนมและฟันกรามถาวรติดตามผลเป็นระยะเวลา 2 ปี มีค่าร้อยละ 97.11 และร้อยละ 96.85 ตามลำดับ (Vrbic, 1998) และติดตามผลเป็นระยะเวลา 3 ปี มีค่าร้อยละ 95.04 และร้อยละ 95.81 ตามลำดับ

(Vrbic, 1999) จากผลการศึกษาพบว่ามอดัการการยึดติดที่สูงมาก ส่วนการศึกษามอดัการการยึดติดเปรียบเทียบระหว่างวัสดุประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์กับวัสดุประเภทเรซินไม่ผสมฟลูออไรด์ของ Jensen Billings และ Featherstone (1990) พบว่ามอดัการการยึดติดจากการติดตามผลเป็นระยะเวลา 1 ปีของ FluroShield กับ PrismaShield ไม่แตกต่างกัน การศึกษาของ Koch และคณะ (1997) พบว่ามอดัการการยึดติดจากการติดตามผลเป็นระยะเวลา 1 ปีของ Helioseal F กับ Delton ไม่แตกต่างกัน ส่วนการศึกษานของ Morphis และ Toumba (1998) พบว่ามอดัการการยึดติดจากการติดตามผลเป็นระยะเวลา 1 ปีของ Delton Plus กับ Delton ไม่แตกต่างกัน

การทดสอบคุณสมบัติการยึดติดในห่องปฏิบัติการของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์ พบว่าผลการศึกษาการรั้วซึมและแรงยึดเฉือนเปรียบเทียบระหว่างวัสดุประเภทเรซินผสมฟลูออไรด์กับประเภทเรซินไม่ผสมฟลูออไรด์ให้ผลได้ทั้งแตกต่างและไม่แตกต่างกัน การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการรั้วซึมได้แก่ การศึกษาของ Cooley และคณะ (1990) พบว่าการรั้วซึมของ FluroShield กับ Helioseal แตกต่างกัน โดย FluroShield มีการรั้วซึมมากกว่าซึ่งต่างจากการศึกษาของ Park และคณะ (1993) ที่พบว่าการรั้วซึมของ FluroShield ไม่แตกต่างกันกับ PrismaShield และ Delton

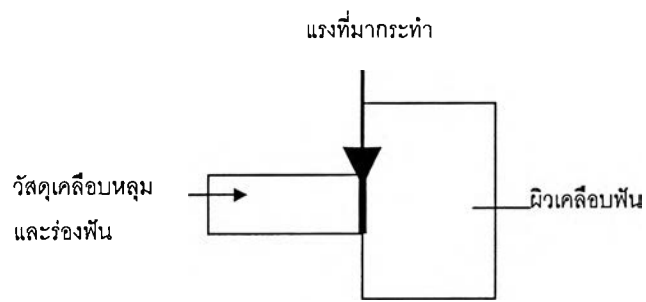
การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแรงยึดเฉือนได้แก่ การศึกษาของ Park และคณะ (1993) พบว่าค่าแรงยึดเฉือนของ FluroShield ไม่แตกต่างกับ PrismaShield แต่แตกต่างจาก Delton โดยพบว่าทั้ง FluroShield และ PrismaShield มีค่าเฉลี่ยแรงยึดเฉือนมากกว่า Delton ซึ่ง FluroShield และ PrismaShield เป็นวัสดุของบริษัทเดียวกันแต่ต่างบริษัทกับ Delton การศึกษาของ Marcusshamer และคณะ (1997) พบว่าแรงยึดเฉือนระหว่าง Helioseal กับ Teethmate-F ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Garcia-Godoy และคณะ (1996) พบว่าแรงยึดเฉือนของ Helioseal Delton Concise และ PrismaShield ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ FluroShield และ PrismaShield กับ FluroShield ผลิตจากบริษัทเดียวกันมีค่าแรงยึดเฉือนใกล้เคียงกันและมากกว่าวัสดุตัวอื่น ๆ เล็กน้อย เพราะฉะนั้นการเติมสารประกอบฟลูออไรด์ของ FluroShield ไม่ทำให้ค่าแรงยึดเฉือนต่างจาก PrismaShield

### การทดสอบคุณสมบัติการยึดติด

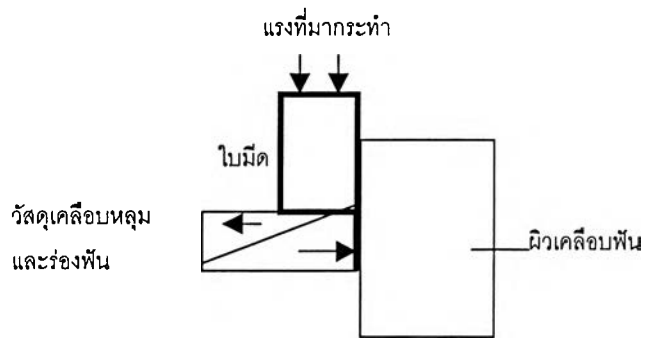
การยึดติดแน่นของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันเป็นกลไกหลักในความสำเร็จของการป้องกันฟันผุนด้านบดเคี้ยว การศึกษาคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันสามารถทำได้ทั้งทางคลินิกและทางห้องปฏิบัติการ การศึกษาอัตราการยึดติดทางคลินิกต้องใช้จำนวนตัวอย่างมาก เวลานาน และค่าใช้จ่ายสูง การศึกษาคุณสมบัติการยึดติดทางห้องปฏิบัติการจะช่วยให้ได้ข้อมูลพื้นฐาน หากข้อมูลทางห้องปฏิบัติการให้ผลเป็นที่น่าพอใจและมีประโยชน์คุ้มค่าใช้จ่ายส่งเสริมให้มีการทำการทดลองในคลินิกต่อไปเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่น่าเชื่อถือร่วมกันและมีประโยชน์ในการนำไปใช้อย่างกว้างขวางต่อไป การศึกษาทางห้องปฏิบัติการเพื่อดูประสิทธิภาพการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันกับผิวเคลือบฟันสามารถศึกษาได้จากคุณลักษณะ 2 ประการคือ แรงยึดเฉือน (Shear bond strength) และการรั่วซึม (Microleakage) (Retief, 1991; Barkmeier และ Cooley, 1992; Oilo, 1993)

### การทดสอบแรงยึดเฉือน

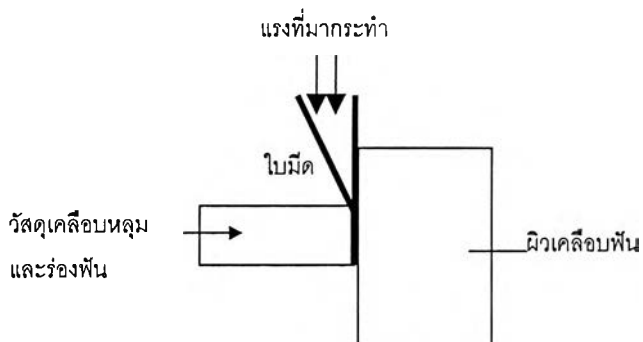
แรงเฉือนเป็นแรงชนิดหนึ่งที่เกิดในช่องปาก พบเกิดมากบริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันขณะเคี้ยวอาหาร การทดสอบแรงยึดเฉือนเป็นการหาค่าแรงที่ทำให้การยึดติดของวัสดุกับผิวเคลือบฟันแตกออกจากกันโดยใช้แรงที่มากกระทำในแนวขนานกับผิวเคลือบฟัน (ภาพที่ 9) วิธีการทดสอบแรงยึดเฉือนตามมาตรฐานสากล (TISI, 1994) เป็นการทดสอบโดยการยึดวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันกับผิวเคลือบฟันที่เตรียมให้ผิวเรียบ อาจใช้ด้านใกล้แก้ม ด้านใกล้ลิ้น หรือด้านประชิดของฟัน จากนั้นทดสอบหาค่าแรงที่ใช้ในการแยกวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันออกจากผิวเคลือบฟัน โดยแนะนำให้เคลื่อนใบมีดด้วยความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที (Retief, 1991; TISI, 1994) ใบมีด (Blade) ที่ใช้ทดสอบมี 2 แบบ (Retief, 1991; Oilo, 1993) คือ แบบที่ 1 ปลายใบมีดตัดแบนและหนา 1.8 มิลลิเมตร (Rectangular-based rod) แรงที่ให้จะกระจายลงที่หน้าตัดของใบมีด ทำให้เกิดแรงคู่ควบในเนื้อวัสดุและวัสดุหลุดจากผิวเคลือบฟันในลักษณะที่ด้านบนติดกับใบมีดแยกออกในขณะที่ด้านล่างเบียดชิดติดกับผิวเคลือบฟัน (ภาพที่ 10) และแบบที่ 2 ใบมีดบางกว่าและหนา 0.5 มิลลิเมตร (Knife-edged rod) แรงที่ให้ลักษณะกดคล้ายลิ้ม (Wedge opening load) ลงบริเวณรอยยึดของผิวเคลือบฟันและวัสดุ ทำให้แรงทั้งหมดที่ให้ลงจุดเดียวและเกิดการแยกออกของวัสดุเริ่มจากบริเวณที่ให้แรง (ภาพที่ 11) ซึ่งแบบที่ 2 นี้เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากแรงทั้งหมดที่ให้ลงระหว่างรอยยึดและทำให้แรงยึดเฉือนที่ได้มีค่ามากกว่าใช้ใบมีดแบบที่ 1 (Retief, 1991)



ภาพที่ 9 การทดสอบแรงยึดเฉือน



ภาพที่ 10 ใบมีดแบบ Rectangular-based rod



ภาพที่ 11 ใบมีดแบบ Knife-edged rod

## การทดสอบการรั่วซึม

การรั่วซึมหมายถึง มีการผ่านของแบคทีเรีย ของเหลว โมเลกุลสาร หรืออไอออน ชนิดต่าง ๆ เข้าไปในระหว่างวัสดุและโครงสร้างฟัน (Kidd, 1976) ทำให้เกิดปัญหาของการติดสีของฟัน ผลกระทบต่อโพรงประสาทฟัน อาการเสียวฟัน และรอยผุใหม่ ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับวัสดุได้แก่ เกิดการผุกร่อน (Corrosion) การละลาย และการเปลี่ยนสีของวัสดุ (Bauer และ Henson, 1984; Trowbridge, 1987) ดังนั้นจึงมีการคิดค้นการทดสอบการรั่วซึมในห้องปฏิบัติการ เช่น ศึกษาการแทรกซึมของสีย้อมหรือสารเคมี (Dye or chemical tracers) การใช้สารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive isotope) การศึกษาโดยใช้แบคทีเรีย (Bacteria studies) การใช้ความดันอากาศเข้าไปในช่องว่าง (Air pressure) การวัดกระแสไฟฟ้าจากสารเคมี (Electrochemical studies) การวัดรังสีที่แผ่กระจายออกมา (Neutron activation analysis) การทำรอยผุจำลอง (Artificial caries) การศึกษาดูการเกิดช่องว่างโดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) หรือการใช้แรงและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Mechanical and thermal cycling) (Kidd, 1976; Bauer และ Henson, 1984; Trowbridge, 1987; Taylor และ Lynch, 1992) วิธีการทดสอบการรั่วซึมในห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้คือ การศึกษาการแทรกซึมของสีย้อม เนื่องจากสามารถเตรียมได้ง่าย ราคาไม่แพง สีย้อมมีความแตกต่างกับทั้งวัสดุและผิวเคลือบฟัน และไม่มีอันตรายใด ๆ ซึ่งต่างจากวิธีอื่น ๆ ที่มีข้อด้อยมากมายเช่น วิธีการเตรียมยุ่งยากซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูง ต้องการอุปกรณ์และผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขาร่วมด้วย และอันตรายสูง

สีย้อมที่นิยมใช้ในการศึกษาการแทรกซึมมีหลายชนิด เช่น สารละลายเมทิลีนบลู (Methylene blue) สารละลายเบสิกฟุชซิน (Basic fuchsin) และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) มีวิธีการเตรียมสารละลายได้หลายความเข้มข้น และเวลาแช่ก็จะแตกต่างกันออกไป โดยพบว่าหากเตรียมให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น จะใช้เวลาในการแช่น้อยลงเช่น สารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้นร้อยละ 1 ใช้เวลาแช่นาน 24 ชั่วโมง ส่วนสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้นร้อยละ 5 ใช้เวลาแช่นาน 4 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal cycling) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม จากหลักการที่ว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุและโครงสร้างฟันแตกต่างกันกล่าวคือ มีการขยายตัวของทั้งวัสดุและโครงสร้างฟันเมื่อแช่ในอุณหภูมิสูง และมีการหดตัวเมื่อแช่ในอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุและโครงสร้างฟันขึ้น ขั้นตอนนี้ทำเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปาก จากชีวิตประจำวันที่มีการดื่มเครื่องดื่มที่มีอุณหภูมิสูงจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 60 องศาเซลเซียสและน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Kidd, 1976; Jensen และ Handleman, 1978) ฉะนั้นจะใช้อุณหภูมิในการทดสอบคือ 5 และ



55 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างกัน 50 องศาเซลเซียส และแซ่อุณหภูมิละ 30-60 วินาที จำนวนรอบที่ใช้ในการทดสอบคือ 1 ถึง 2500 รอบ (Kidd, 1976) บางการทดลองพบว่าการใช้จำนวนรอบมากขึ้นจะทำให้ค่าการรั่วซึมมากขึ้น (Peterson และคณะ, 1966 อ้างถึงใน Kidd, 1976) ซึ่งต่างจากผลการศึกษาของ Xalabarde และคณะ (1998) ที่พบว่าค่าการรั่วซึมของวัสดุเคลือบหลุมและร่องฟันที่ผ่านและไม่ผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาของ Crim และ Garcia-Godoy (1987) พบว่าค่าการรั่วซึมของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจำนวน 100 และ 1500 รอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ