

การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานพื้นเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

นางสาว พนารัตน์ ขอดแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาทันตชีววัสดุศาสตร์ (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF FLUORIDE RELEASING DENTURE BASE COATING MATERIALS

Miss Panarat Kodkeaw

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Dental Biomaterials Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์
โดย	นางสาว พนารัตน์ ขอดแก้ว
สาขาวิชา	ทันตชีววัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.พสุธา รัชฎะกิจ ไพศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ปรารมภ์ ซาลิม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.อรพินท์ แก้วปลั่ง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจิมชัย เหมะจันทร์)

พนารัตน์ ขอดแก้ว : การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์.

(DEVELOPMENT OF FLUORIDE RELEASING DENTURE BASE COATING

MATERIALS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ทพ. ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล,

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล, 193 หน้า.

การเกิดฟันผุในผู้ใส่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานพลาสติก ได้นำมาสู่การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เนื่องจากฟลูออไรด์เป็นสารที่มีศักยภาพสูงในการป้องกันฟันผุ สารเคลือบผิวฟันเทียมชนิดบ่มด้วยแสงถูกเตรียมขึ้นโดยการผสมมอนอเมอร์อะคริเลต กับระบบสารริเริ่มปฏิกิริยาดำแสง แคมฟอร์ควิโนน และไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต ฟลูออไรด์ที่เลือกใช้เพื่อผสมกับสูตรเรซินสำหรับเป็นแหล่งฟลูออไรด์ คือ โซเดียมฟลูออไรด์ และแคลเซียมฟลูออไรด์ ทดสอบสมบัติความแข็งผิว การดูดน้ำ การละลายน้ำ และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ของสารเคลือบที่เตรียมขึ้น จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อช่วยในการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด ทำการศึกษาสมบัติของสูตรที่เลือกเพิ่มเติม คือ การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในแต่ละวัน และการยึดติดกับฐานฟันเทียมชนิดบ่มด้วยความร้อน จากการศึกษาพบว่า วัสดุที่เตรียมจากส่วนผสมของมอนอเมอร์อะคริเลต (DU-DMA/GDA/TEGDMA/DEGME-MA ด้วยสัดส่วน 1.0/0.1/0.25/0.75 โดยโมล) และแคลเซียมฟลูออไรด์ สามารถใช้เป็นสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ จากการศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์ พบว่า สูตรผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ในช่วงร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักเรซิน ให้ผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่สม่ำเสมอในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการป้องกันฟันผุ อย่างไรก็ตามปัญหาการยึดติดของสารเคลือบกับฐานฟันเทียมสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการใช้สารสนับสนุนการเสริมฐานทาที่ผิวก่อนการเคลือบ

สาขาวิชา.....ทันตชีววัสดุศาสตร์.....

ปีการศึกษา.....2551.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4789670020 : MAJOR DENTAL BIOMATERIALS SCIENCE

KEYWORDS : DENTURE / COATING MATERIALS / FLUORIDE / LIGHT CURING

PANARAT KODKEAW: DEVELOPMENT OF FLUORIDE RELEASING
 DENTURE BASE COATING MATERIALS. ADVISOR: ASSOC. PROF.
 PIYAWAT PHANKOSOL, DDS., Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF.
 NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D., 193 pp.

The caries prone in removable partial denture wearers lead to the development of fluoride releasing denture base coating material because fluoride has high potential in caries prevention. Light cured denture coating materials were prepared by formulating acrylate monomer with a photoinitiator system; camphorquinone and dimethylaminoethyl methacrylate. Sodium fluoride and calcium fluoride were selected to incorporate into those formulations as a fluoride source for coating materials. The surface hardness, water sorption, water solubility and fluoride releasing properties of coating materials were tested. The data were analyzed statistically and the best formulation was chosen. The selected formulations were studied for further properties as follow; daily fluoride ion releasing and adhesion to heat cured denture base materials. The results showed that the materials formulated from the mixture of acrylate monomers (DU-DMA/GDA/TEGDMA/DEGME-MA in ratio of 1.0/0.1/0.25/0.75 by mol) and calcium fluoride could be used as a fluoride releasing denture base coating materials. From the fluoride releasing study, it was found that the formulation contains calcium fluoride in the range of 10-30% by resin weight provided consistent releasing profile and the amount of fluoride was adequate for caries prevention. However, the adhesion problems of the coating with denture base could be improved by treating the surface with rebase aid before coating.

Field of Study : Dental Biomaterials Science

Academic Year : 2008

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทนต์แพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูลุ สำหรับ คำชี้แนะและการฝึกฝนกระบวนการคิดและทำวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทนต์แพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง และ รองศาสตราจารย์ ทนต์แพทย์ ดร.พสุธา ัญญะกิจไพศาล สำหรับ การดูแลในฐานะประธานหลักสูตรได้อย่างดี อาจารย์ ทนต์แพทย์ ัญญวรธน์ ปลื้มสำราญ สำหรับคำแนะนำและการสรรหาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา ที่ได้เขียนหนังสือการวิเคราะห์สถิติที่ง่ายต่อการเข้าใจและปฏิบัติตาม และที่ขาดไม่ได้คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสำหรับการทำวิจัย (ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ที่ให้กำลังใจเรื่อยมา รวมทั้งคณาจารย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ต้องทำงานหนักขึ้นในระหว่างที่ดิฉันกำลังลาศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
3. ขอบเขตของการวิจัย.....	2
4. ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	2
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
6. คำสำคัญ.....	3
7. รูปแบบการวิจัย.....	3
8. สถานที่ทำวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1. ทรายจุลินทรีย์ น้ำลาย และฟันผุ.....	4
2. การเกิดฟันผุในผู้ใส่ฟันเทียมถอดได้และฟันเทียมคร่อมราก.....	5
3. ปัญหาการสูญเสียฟันและความต้องการใส่ฟันในผู้สูงอายุ.....	6
4. การสูญเสียและกลับคืนของแร่ธาตุ.....	7
5. การสะสมฟลูออไรด์ของฟัน.....	9
6. ความเป็นพิษของฟลูออไรด์.....	10
7. ฟลูออไรด์เสริมเฉพาะที่.....	13
8. การเสริมฟลูออไรด์ในวัสดุบูรณะฟัน.....	15
9. การเสริมฟลูออไรด์ในงานจัดฟันแบบติดแน่น.....	18
10. การศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะฟัน.....	18
11. การประจุฟลูออไรด์สู่วัสดุบูรณะฟัน.....	19
12. สารเคลือบผิวเรซินอะคริลิกทางทันตกรรม.....	20

13. พอลิเมอร์สำหรับงานเคลือบผิว.....	21
14. อะคริลิก.....	22
15. การเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิก.....	23
16. การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิก.....	26
17. หลักการพื้นฐานของการบ่มด้วยแสง.....	27
18. สารริเริ่มปฏิกิริยาคัดด้วยแสง.....	29
19. แหล่งกำเนิดแสง.....	31
20. สมบัติที่พึงประสงค์ของเรซินทางทันตกรรม.....	31
21. การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
1. วัสดุสำหรับเตรียมสูตรสารเคลือบ.....	33
2. เครื่องมือสำหรับการทดสอบ.....	39
3. วิธีการทดสอบ.....	42
4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	51
บทที่ 4 รายงานผล การวิเคราะห์ และอภิปรายผลการวิจัย.....	52
1. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 1.....	52
2. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 2.....	74
3. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 3.....	88
4. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 4.....	94
5. การประจุฟลูออไรด์.....	99
6. การยึดติดของสารเคลือบกับเรซินอะคริลิก.....	101
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก.....	115
ภาคผนวก ก เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุ.....	116
ภาคผนวก ข ประกาศกระทรวง.....	180
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	193

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แผนการให้ฟลูออไรด์เสริมในเด็ก โดยสมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา	12
ตารางที่ 2	ปริมาณฟลูออไรด์ในผลิตภัณฑ์ทางทันตกรรม.....	14
ตารางที่ 3	ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุ.....	19
ตารางที่ 4	รายละเอียดส่วนประกอบของสารเคลือบผิว.....	42
ตารางที่ 5	ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1.....	52
ตารางที่ 6	ความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกและสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1.....	56
ตารางที่ 7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีอิทธิพล ต่อความแข็งผิว	58
ตารางที่ 8	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบ ที่มีต่อความแข็งผิว	58
ตารางที่ 9	การดูดน้ำและละลายน้ำของเรซินอะคริลิกและสารเคลือบ.....	62
ตารางที่ 10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดน้ำ	64
ตารางที่ 11	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบที่มีต่อการดูดน้ำ...	64
ตารางที่ 12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีอิทธิพล ต่อการละลายน้ำ	67
ตารางที่ 13	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบที่มีต่อ การละลายน้ำ.....	67
ตารางที่ 14	ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากจากสารเคลือบผสมโซเดียมฟลูออไรด์ และ แคลเซียมฟลูออไรด์.....	70
ตารางที่ 15	ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2.....	74
ตารางที่ 16	ความแข็งผิวของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2.....	76
ตารางที่ 17	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของ ตัวเจือจาง ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งผิว	77
ตารางที่ 18	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัว เจือจาง ที่มีต่อความแข็งผิว	77
ตารางที่ 19	การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2.....	79
ตารางที่ 20	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจางที่มีอิทธิพลต่อการดูดน้ำ	81

ตารางที่ 21	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีต่อการดูดน้ำ	82
ตารางที่ 22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจางที่มีอิทธิพลต่อการละลายน้ำ	83
ตารางที่ 23	ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจางที่มีต่อการละลายน้ำ	83
ตารางที่ 24	ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2.....	85
ตารางที่ 25	ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 3.....	88
ตารางที่ 26	ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 3.....	89
ตารางที่ 27	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบในแต่ละวัน.....	94
ตารางที่ 28	ความแข็งผิวของสารเคลือบ ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30.....	97
ตารางที่ 29	การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30	98

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1	ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียและการสะสมกลับของแร่ธาตุสู่ผิวฟัน 4
รูปที่ 2	การเกิดฟันผุในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับฟันเทียมถอดได้..... 5
รูปที่ 3	กระบวนการสูญเสียและการกลับคืนของแร่ธาตุสู่ผิวฟัน 8
รูปที่ 4	ฟันผุระยะแรกผิวเคลือบฟันจะยังคงความต่อเนื่องอยู่..... 9
รูปที่ 5	จำนวนคนที่เกิดอาการเป็นพิษจากยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ ความรุนแรงระดับปานกลาง..... 11
รูปที่ 6	ระบบปลดปล่อยฟลูออไรด์ภายในช่องปาก..... 14
รูปที่ 7	สารเคลือบผิวเรซินอะคริลิกทางทันตกรรม..... 21
รูปที่ 8	การนำเข้าสู่ปฏิกิริยาและการแผ่ไอซ์ 24
รูปที่ 9	การถ่ายโอนไอซ์ 25
รูปที่ 10	การสิ้นสุดไอซ์ 26
รูปที่ 11	การเกิดโครงร่างพอลิเมอร์ 28
รูปที่ 12	การยับยั้งปฏิกิริยาโดยออกซิเจน..... 28
รูปที่ 13	การเปลี่ยนแปลงของคีโตนคาร์บอนิลออร์บิทัล..... 29
รูปที่ 14	กระบวนการกระตุ้นสารริเริ่มปฏิกิริยาค้ำแสง..... 30
รูปที่ 15	การดูดซับคลื่นแสงของแคมฟอร์ควิโนน และ 1-ฟีนิล 1,2-โพรเพนไดโอน 30
รูปที่ 16	Bisphenol A glycerolate diacrylate 33
รูปที่ 17	Glycerol 1,3-diglycerolate diacrylate..... 33
รูปที่ 18	Diurethane dimethacrylate..... 34
รูปที่ 19	Triethylene glycol dimethacrylate..... 34
รูปที่ 20	Di(ethylene glycol) methyl ether methacrylate..... 35
รูปที่ 21	2-Hydroxyethyl methacrylate..... 35
รูปที่ 22	Methacrylic acid..... 36
รูปที่ 23	(+/-) Camphorquinone..... 37
รูปที่ 24	2-Dimethylaminoethyl methacrylate..... 37
รูปที่ 25	เครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค..... 39
รูปที่ 26	เครื่องวัดปริมาณฟลูออไรด์..... 40
รูปที่ 27	เครื่องทดสอบซากกลอยด์..... 40
รูปที่ 28	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 41

รูปที่ 29	แม่แบบสำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญ และ ตู้ปั๊มด้วยแสง.....	43
รูปที่ 30	การวัดความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่าง และ ตำแหน่งจุดกด.....	45
รูปที่ 31	ชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญ และ ตู้ควบคุมอุณหภูมิ.....	46
รูปที่ 32	เครื่องอัดและแบบสำหรับทำชิ้นงานเรซินอะคริลิก.....	49
รูปที่ 33	ชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติด.....	50
รูปที่ 34	การทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติด.....	51
รูปที่ 35	ตัวอย่างที่สำหรับคุณภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	51
รูปที่ 36	ลักษณะรอยบุบบนผิวสารเคลือบเมื่อปั๊ม 5 และ 10 นาที.....	53
รูปที่ 37	ลักษณะชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญ สำหรับการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1.....	54
รูปที่ 38	ความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกและสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1.....	57
รูปที่ 39	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความแข็งผิวของเรซินฐาน.....	59
รูปที่ 40	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความแข็งผิวของเรซินฐาน ที่จำแนกกลุ่มตามมอดอเมอร์ฐาน.....	60
รูปที่ 41	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความแข็งผิวของเรซินฐาน ที่จำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง.....	60
รูปที่ 42	การดูหน้าและละลายน้ำของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1.....	63
รูปที่ 43	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การดูหน้าของเรซินฐานและเรซินอะคริลิก.....	65
รูปที่ 44	การดูหน้าของเรซินฐาน ที่จำแนกกลุ่มตามมอดอเมอร์ฐาน.....	66
รูปที่ 45	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การละลายน้ำของเรซินฐานและเรซินอะคริลิก.....	68
รูปที่ 46	การละลายน้ำของเรซินฐาน ที่จำแนกกลุ่มตามมอดอเมอร์ฐาน.....	69
รูปที่ 47	การปลดปล่อยฟลูออไรด์ จากสารเคลือบผสมโซเดียมฟลูออไรด์.....	71
รูปที่ 48	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์.....	71
รูปที่ 49	ชิ้นตัวอย่างกลุ่มผสม โซเดียมฟลูออไรด์ภายหลังแช่น้ำนาน 4 สัปดาห์.....	72
รูปที่ 50	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ GDA กับความแข็งผิวของสารเคลือบ.....	76
รูปที่ 51	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความแข็งผิวของสารเคลือบ ที่จำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง.....	78
รูปที่ 52	การดูหน้าและละลายน้ำของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2.....	79
รูปที่ 53	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ GDA กับการดูหน้าของสารเคลือบ.....	80
รูปที่ 54	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ GDA กับการละลายน้ำของสารเคลือบ.....	81
รูปที่ 55	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การดูหน้าของสารเคลือบ ที่จำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง.....	82

รูปที่ 56	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การละลายน้ำของสารเคลือบ ที่จำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง.....	84
รูปที่ 57	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2	85
รูปที่ 58	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ ในสัปดาห์ที่ 4.....	86
รูปที่ 59	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากเรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.3_TEGDMA 1.0.....	90
รูปที่ 60	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากเรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5.....	90
รูปที่ 61	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากเรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75.....	91
รูปที่ 62	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากเรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_DEGME-MA 1.0.....	91
รูปที่ 63	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ ที่จำแนกกลุ่มตาม ปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์.....	92
รูปที่ 64	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 10	93
รูปที่ 65	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ เป็นรายวัน.....	95
รูปที่ 66	ชิ้นตัวอย่างสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์	95
รูปที่ 67	ภาพรอยหักชิ้นตัวอย่างสารเคลือบที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์.....	96
รูปที่ 68	ภาพรอยหักชิ้นตัวอย่างและผงแคลเซียมฟลูออไรด์.....	96
รูปที่ 69	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความแข็งผิวของสารเคลือบ จำแนกตามการปฏิบัติ.....	97
รูปที่ 70	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบ.....	98
รูปที่ 71	ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยภายหลังการประจุเปรียบเทียบกับตอนเริ่มต้น.....	99
รูปที่ 72	พื้นผิวเรซินอะคริลิกที่ขัดกระดาษทรายและทาด้วย สารสนับสนุนการเสริมฐาน.....	101
รูปที่ 73	ลักษณะความลึมหลวของการยึดติด	102
รูปที่ 74	ภาพพื้นผิวความลึมหลวของการยึดติด ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	103
รูปที่ 75	ภาพพื้นผิวความลึมหลวของการยึดติด ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า.....	103
รูปที่ 76	ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ความต้านแรงดึงของการยึดติด ของสารเคลือบกับเรซินอะคริลิก.....	104

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟันผุเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียฟัน การใส่ฟันเทียมเพื่อทดแทนฟันธรรมชาติที่สูญเสียไป จะช่วยให้ผู้ป่วยสามารถบดเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมความสวยงาม การเปล่งเสียงพูด และสร้างความมั่นใจในสังคม อย่างไรก็ตามการใส่ฟันเทียมโดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดถอดได้ฐานพลาสติก ฐานฟันเทียมจะปกคลุมผิวฟันเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ตลอดช่วงเวลาที่ใส่ฟันประมาณวันละ 8 ชั่วโมง ฟันขาดการทำความสะอาดตามธรรมชาติจากการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่างๆ โดยรอบช่องปาก การขัดสีโดยอาหาร รวมทั้งการชะล้างโดยน้ำลาย เชื้อจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในคราบจุลินทรีย์จึงเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ทั้งยังผลิตและปลดปล่อยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกมาทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุจากฟันและเกิดฟันผุตามมา

ฟลูออไรด์เป็นสารที่ได้รับการยอมรับมาเป็นระยะเวลานานว่าสามารถลดการเกิดฟันผุได้ จึงมีการผสมฟลูออไรด์ลงในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายในช่องปากเพื่อหวังผลในการป้องกันฟันผุ ตัวอย่างเช่น น้ำยาบ้วนปาก ยาสีฟัน ไหมขัดฟัน ไม้จิ้มฟัน การใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะช่วยให้ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ภายในช่องปากเพิ่มสูงขึ้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เนื่องจากฟลูออไรด์จะถูกชะล้างออกไปอย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นต้องใช้ซ้ำบ่อยๆ ฟลูออไรด์เจลและฟลูออไรด์วานิช เป็นผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงที่ใช้โดยทันตแพทย์ เพื่อหวังผลป้องกันฟันผุในระยะยาว แต่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ภายในช่องปากยังคงมีการลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการใช้ ระบบนำส่งฟลูออไรด์ภายในช่องปากเป็นวิธีการที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกลุ่มคนที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง เป็นระบบที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยฟลูออไรด์ให้คงที่อย่างต่อเนื่องและยาวนานเป็นเดือน แต่ด้วยขนาดใหญ่และจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการยึดให้อยู่ภายในช่องปาก จึงมักประสบกับปัญหาการยอมรับโดยผู้ป่วย หรือเครื่องมืออาจจะหลุดก่อนเวลาได้ การผสมฟลูออไรด์ในวัสดุบูรณะฟันเป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับลดการเกิดฟันผุโดยรอบวัสดุอุดที่อาจเกิดขึ้นได้ภายหลังการบูรณะฟัน แต่วิธีดังกล่าวมักทำให้สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุย่อยลงซึ่งเป็นปัญหาต่อความคงทนในการใช้งาน

การทำให้ฟันเทียมมีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์โดยไม่ลดทอนสมบัติทางกายภาพของฟันเทียมสามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีการเคลือบผิว การเคลือบผิวฟันเทียมในบริเวณที่

สัมผัสหรืออยู่ใกล้กับพื้นด้วยวัสดุที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ เป็นการนำฟลูออไรด์ให้มาอยู่ใกล้กับบริเวณที่ต้องการประโยชน์จากฟลูออไรด์มากที่สุด ปริมาณฟลูออไรด์ที่ใช้จึงไม่จำเป็นต้องสูงมากเช่นที่ผสมในยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปาก นอกจากนี้แล้วฟันยังได้สัมผัสกับฟลูออไรด์ตลอดเวลาที่ใส่ฟันเทียม การใช้สารเคลือบที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์จึงเป็นวิธีการเสริมฟลูออไรด์ที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง และหากมีการสูญเสียสารเคลือบบางส่วนไปก็ไม่เป็นปัญหาต่อการใช้งานของฟันเทียม ทั้งยังสามารถทำการเคลือบผิวซ้ำได้เมื่อมาพบทันตแพทย์

การเคลือบผิวฟันเทียมด้วยสารเคลือบที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์มีประโยชน์ในการป้องกันฟันผุสำหรับ ผู้ใส่ฟันเทียมถอดได้ฐานพลาสติก ผู้ใส่เครื่องมือจัดฟันถอดได้ฐานพลาสติกที่ต้องใส่เครื่องมือตลอดเวลาหรือใส่วันละหลายชั่วโมงต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ผู้ที่มีความพิการบนใบหน้าและขากรรไกรที่ได้รับการบูรณะด้วยสิ่งประดิษฐ์ถอดได้ฐานพลาสติก รวมทั้งผู้สูงอายุและผู้ที่เคยได้รับรังสีรักษาในบริเวณศีรษะและลำคอที่มักพบว่ามียุบัติการเกิดฟันผุสูงและมีการลุกลามอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นผลจากการมีน้ำลายน้อยและด้อยคุณภาพ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์

3. ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อการคัดเลือกสูตรสารเคลือบ

4. ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงมีข้อจำกัดหลายประการที่อาจทำให้ผลการทดสอบมีความแตกต่างจากที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริงไปบ้าง เนื่องจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ อาทิเช่น น้ำลาย คราบจุลินทรีย์ อาหาร เครื่องดื่ม อุณหภูมิ และความเป็นกรดค่า ดังนั้นสูตรสารเคลือบที่ผ่านการคัดเลือกเป็นลำดับขั้นด้วยกระบวนการทดสอบต่างๆ ที่จัดเตรียมขึ้น จึงเป็นเพียงสูตรตั้งต้นสำหรับการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงต่อไป

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์
2. สามารถนำผลงานลงตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมสัมมนาได้
3. สามารถจดสิทธิบัตรได้

6. คำสำคัญ

“Denture”	ฟันเทียม
“Coating materials”	สารเคลือบ
“Fluoride”	ฟลูออไรด์
“Light curing”	บ่มด้วยแสง

7. รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

8. สถานที่ทำวิจัย

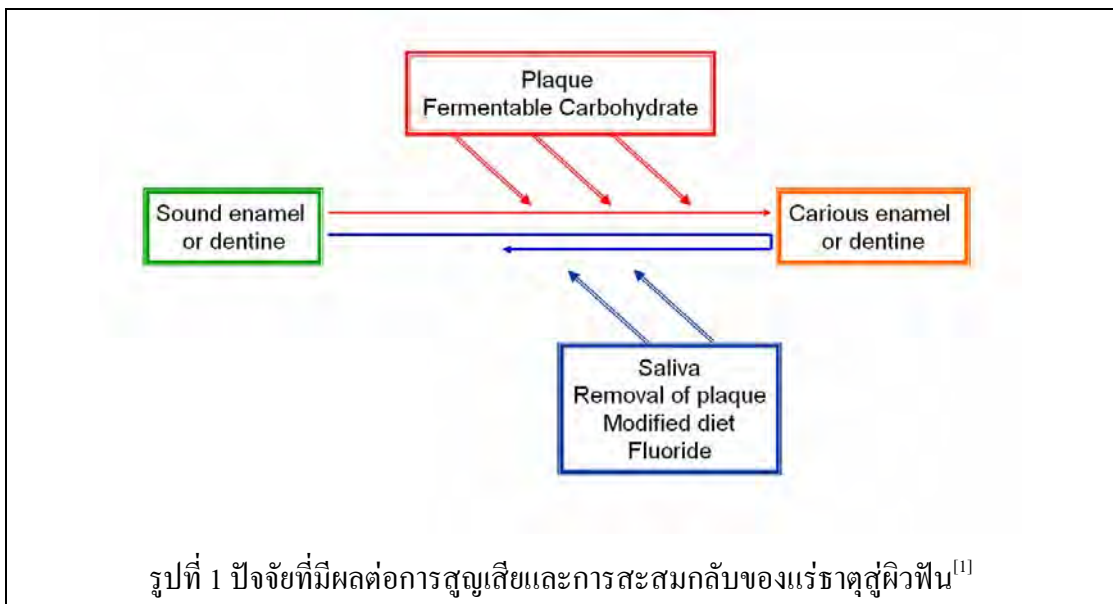
ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO 9001:2000 เลขที่ใบรับรอง QMS03218/822 รับรองโดยสมาชิกของ PAC/IAF MLA FOR QMS)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คราบจุลินทรีย์ น้ำลาย และฟันผุ

โดยธรรมชาติคราบจุลินทรีย์และผิวฟันเป็นสิ่งที่อยู่คู่กันเสมอ เมื่อคราบจุลินทรีย์เก่าหลุดออกไปก็จะมีคราบใหม่เกิดขึ้นทดแทนทันที คราบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดฟันผุจะมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก โดยเชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตและปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกมาละลายแร่ธาตุจากฟันซึ่งทำให้เกิดฟันผุตามมา แม้ว่าแร่ธาตุที่ละลายออกไปจะสามารถตกตะกอนกลับคืนสู่ฟันได้เมื่อความเป็นกรดต่างโดยรอบผิวฟันกลับสู่ค่าปกติ^[1-3] อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายประการที่สามารถขัดขวางหรือส่งเสริมกระบวนการข้างต้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



น้ำลายเป็นกลไกสำคัญของร่างกายที่ใช้สำหรับการป้องกันฟันผุ ซึ่งมีความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.7 ถึง 7.4 โดยผันแปรไปตามอัตราการหลั่ง^[4, 5] น้ำลายทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) จึงช่วยให้สภาวะความเป็นกรดต่างที่เปลี่ยนไปกลับคืนสู่ค่าปกติได้ในเวลาไม่นาน อย่างไรก็ตามคราบจุลินทรีย์ที่หนาและเต็มไปด้วยเชื้อจุลินทรีย์จะขัดขวางไม่ให้น้ำลายเข้าไปสัมผัสกับผิวฟันได้อย่างทันทั่วถึง ทำให้ฟันต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดอยู่เป็นเวลานาน แร่ธาตุที่สะสมอยู่บนฟันจึงละลายออกมาเป็นจำนวนมาก^[1-3] การกำจัดคราบจุลินทรีย์เป็นประจำจึงมีความจำเป็น เพื่อช่วยให้น้ำลายสามารถเข้าทำหน้าที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด

ฟันผุพบได้บ่อยในผู้ที่ไม่ใส่ใจหรือไม่มีความสามารถในการรักษาความสะอาดช่องปากและฟัน ผู้ที่รับประทานอาหารที่มีน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตสูงหรือมีกากใยต่ำ ผู้ที่มีน้ำลายน้อยหรือด้อยคุณภาพ ผู้สูงอายุ ผู้ที่อยู่ในภาวะทุพโภชนาการ ผู้ที่ได้รับรังสีรักษาบริเวณศีรษะและลำคอ รวมทั้งผู้ที่ได้รับยาที่มีฤทธิ์ข้างเคียงต่อการทำงานของต่อมน้ำลาย^[1, 2] นอกจากนี้แล้วยังพบฟันผุได้ในบริเวณที่ทำความสะอาดได้ยากหรือง่ายต่อการสะสมของคราบจุลินทรีย์ อาทิเช่น บริเวณหลุมร่องฟันที่ลึกซึ่งพบมากในเด็กที่ฟันเพิ่งขึ้น บริเวณซอกฟันซึ่งพบมากในผู้สูงอายุที่มีเหงือกถ่น บริเวณขอบของวัสดุบูรณะฟัน รวมทั้งผิวฟันที่ถูกปกคลุมโดยส่วนประกอบของฟันเทียมถอดได้^[11] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดฟันผุในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับฟันเทียมถอดได้

2. การเกิดฟันผุในผู้ใส่ฟันเทียมถอดได้และฟันเทียมคร่อมราก

การเกิดฟันผุในผู้ใส่ฟันเทียมถอดได้และฟันเทียมคร่อมราก มีลักษณะและรูปแบบที่แตกต่างไปจากการผุโดยทั่วไป ที่มักเกิดขึ้นในบริเวณผิวฟันที่ขรุขระเป็นร่องหลุม และบริเวณผิวด้านประชิดของฟันซึ่งเป็นจุดอับในการทำมาความสะอาด ฟันผุในผู้ใส่ฟันเทียมถอดได้มักเกิดขึ้นบนผิวฟันที่เรียบซึ่งเป็นบริเวณที่ทำความสะอาดได้เอง (self cleansing area) จากการเคลื่อนไหวผ่านของอาหารขณะบดเคี้ยวและการขัดถูจากแก้มลิ้นและริมฝีปาก แต่เมื่อใส่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้บริเวณดังกล่าวจะถูกคลุมด้วยส่วนประกอบของฟันเทียม จึงทำให้มีบริเวณสำหรับการสะสมของคราบจุลินทรีย์ขึ้นมาใหม่

จากการศึกษาโดยการติดตามและเก็บข้อมูลในผู้ใส่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้พบว่าคนกลุ่มนี้มีการผุสูง^[6-8] พบการผุที่รากฟัน^[8] มีปัญหาเศษอาหารติดที่ฟัน^[9] โดย Jepson และคณะพบว่าผู้สูงอายุที่ใช้ฟันเทียมบางส่วนถอดได้มีฟันผุเกิดขึ้นใหม่สูงกว่าผู้ที่ใช้สะพานฟันชนิดคานยื่น

ที่ยึดติดโดยใช้เรซิน (cantilever resin-bonded bridges)^[10] Hintao และคณะ พบว่าในผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 การเกิดฟันผุที่ตัวฟันมีความสัมพันธ์กับการใส่ฟันเทียมถอดได้^[11] นอกจากนี้แล้วยังพบว่า การอธิบายให้ผู้ป่วยเข้าใจและตระหนักถึงความจำเป็นในการรักษาความสะอาดช่องปาก รวมไปถึงการนัดเพื่อตรวจและติดตามผลการรักษาให้บ่อยขึ้น เป็นสิ่งที่ช่วยให้ผู้ป่วยสามารถควบคุมปริมาณคราบจุลินทรีย์ให้มัน้อยลงและช่วยให้อวัยวะปริทันต์มีสุขภาพที่ดีขึ้น^[12-15]

ปัญหาการผุบนฟันหลักในผู้ใช้ฟันเทียมคร่อมรากมีสาเหตุจากตัวฟันถูกตัดออกไปเหลือไว้แต่รากสำหรับการรองรับฟันเทียมและอนุรักษักระดูกเข้าฟัน การตัดฟันทำให้เนื้อฟันและเคลือบรากฟัน โผล่ขึ้นมาสัมผัสกับของเหลวภายในช่องปาก ซึ่งทั้งสองส่วนนี้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุได้ง่ายและรวดเร็ว โดยเคลือบรากฟันจะเริ่มเกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ค่าความเป็นกรดต่าง 6.7^[16] ซึ่งอยู่ในช่วงความเป็นกรดต่างของน้ำลาย จากการศึกษาโดยการติดตามผู้ใช้ฟันเทียมคร่อมรากพบว่า การสูญเสียฟันหลักมีสาเหตุจากการผุถึงร้อยละ 16.5^[17] โดยพบว่ามีฟันผุเกิดขึ้นหลังใส่ 2-8 เดือน^[18] และมีฟันผุเกิดขึ้นใหม่ถึงร้อยละ 6.5 ต่อปี^[19] โดย Budtz-Jorgensen พบว่าผู้ที่ใส่ฟันเทียมคร่อมรากทั้งวันทั้งคืนมีความเสี่ยงสูงในการเกิดโรคปริทันต์และฟันผุ แม้ว่าจะได้ควบคุมสุขภาพช่องปากอย่างดีแล้ว^[20]

3. ปัญหาการสูญเสียฟันและความต้องการใส่ฟันในผู้สูงอายุ

ด้วยความเจริญก้าวหน้าในวิทยาการทางการแพทย์ ทำให้ปัจจุบันคนมีอายุยืนขึ้นและมีฟันคงเหลืออยู่ในช่องปากนานขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยการเสื่อมของร่างกายที่มีตามวัย ทำให้คนกลุ่มนี้มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดฟันผุ และเป็นโรคเหงือก ประกอบกับมีปัญหาสุขภาพอื่นๆ ที่สนับสนุนให้ปัญหาเหล่านี้มีความรุนแรงยิ่งขึ้น

จากรายงานผลการสำรวจสถานะทันตสุขภาพแห่งชาติ พ.ศ.2543-2544 โดย กองทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า กลุ่มอายุ 60-74 ปี ร้อยละ 95.6 เป็นโรคฟันผุ และ/หรือ มีการสูญเสียฟัน โดยมีค่าเฉลี่ยฟันผุดอนอด 14.4 ซึ่งต่อคน พบผู้มีฟันผุที่รากฟันร้อยละ 19.9 และ ผู้ที่เป็นโรคปริทันต์ร้อยละ 61.6 โดยการสูญเสียฟันในคนกลุ่มนี้มีแนวโน้มลดลงจาก 14.7 ซึ่ง ในปี 2527 เป็น 12.2 ซึ่ง ในปี 2543 ทำให้ผู้มีฟันใช้งานไม่น้อยกว่า 20 ซึ่ง มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 47.2 เป็นร้อยละ 49.0 ผู้ไม่มีฟันทั้งปากลดลงจากร้อยละ 16.2 เป็นร้อยละ 8.2 แม้ว่าแนวโน้มการสูญเสียฟันจะลดลง แต่ปัญหาการไม่มีฟันเคี้ยวอาหารก็ยังมีอยู่มาก โดยพบว่าเป็นในกลุ่มผู้สูงอายุมีผู้ใช้ฟันเทียมถอดได้อยู่แล้วร้อยละ 10.7 และจำเป็นต้องใส่อีกร้อยละ 64.5^[21]

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้ทำการคาดประมาณจำนวนประชากรของประเทศไทย โดยใช้ฐานข้อมูลจากการทำสำมะโนประชากรที่ทำปี พ.ศ. 2503-2543 พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 ประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปจะมีจำนวน 7,522,800 คน^[22] จึงคำนวณได้ว่าในปี พ.ศ. 2553 จะมีผู้สูงอายุจำนวน 5,657,140 คน ที่ต้องใส่ฟันเทียมถอดได้เพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพการบดเคี้ยว และเมื่อให้การรักษาเสร็จแล้ว ต้องทำการติดตามและเฝ้าระวังการเกิดฟันผุและโรคปริทันต์อย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียฟันเพิ่มเติม และเกิดปัญหาที่รุนแรงยิ่งขึ้น

4. การสูญเสียและกลับคืนของแร่ธาตุ

เคลือบฟันเป็นโครงสร้างที่มีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 95 โดยเป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ประมาณร้อยละ 90-92 ที่เหลือเป็นแคลเซียมฟอสเฟต หรือคาร์บอนเนตอสันฐาน (amorphous calcium phosphate or carbonate) และ ไอออนหรือโมเลกุลที่ดูดซับอยู่บนผิวของผลึกอะพาไทต์^[1,3]

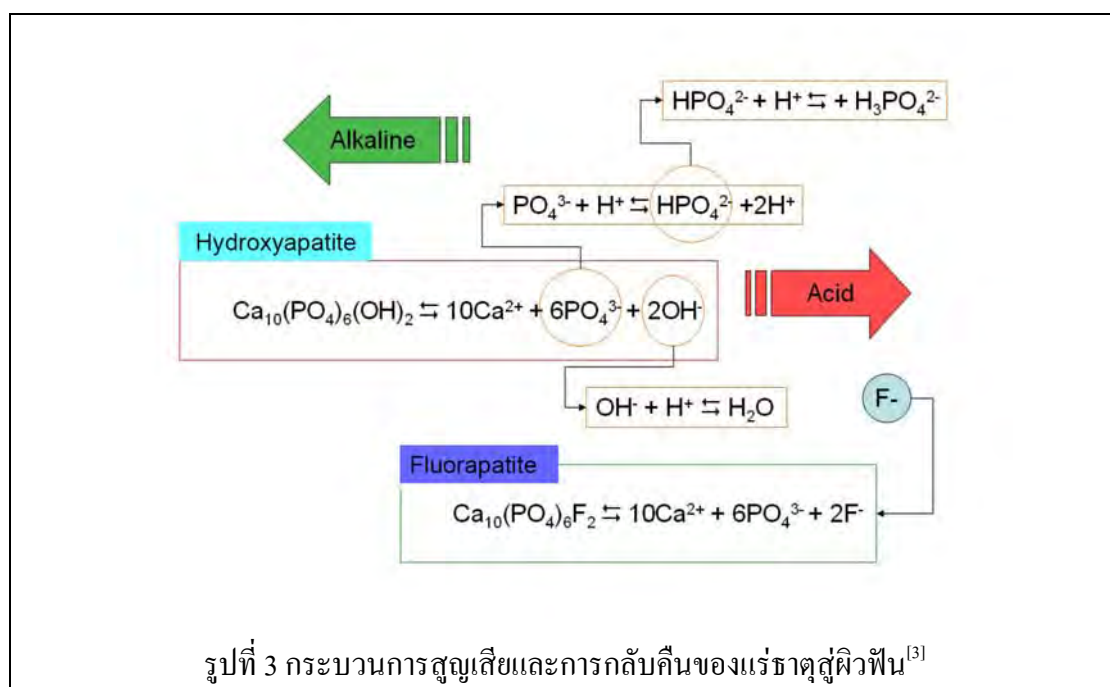
เคลือบฟันมีโครงสร้างเป็นรูพรุนจึงยอมให้อิออนต่างๆ แพร่ผ่านเข้าไปได้ โดยไอออนของโซเดียม แมกนีเซียม และ คาร์บอนเนต จะดูดซับลงบนผิวของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากนั้นจึงมีการแลกเปลี่ยนไอออน ตัวอย่างเช่น เปลี่ยนจากแคลเซียม เป็น เรเดียม (radium) สตรอนเทียม (strontium) ตะกั่ว (lead) หรือไฮโดรเจน (hydrogen) เปลี่ยนจากฟอสเฟต เป็น คาร์บอนเนต และ เปลี่ยนจากไฮดรอกซิล เป็น ฟลูออไรด์ เป็นต้น โดยผลึกฟลูออราพาไทต์ (fluorapatite: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) หรือ ฟลูออริเดทไฮดรอกซีอะพาไทต์ (fluoridate hydroxyapatite: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OHF}$) เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออนเป็นฟลูออไรด์ไอออน ซึ่งทำให้มีสมบัติทนทานต่อสภาวะความเป็นกรดมากขึ้น^[1,3]

ค่าวิกฤติความเป็นกรดต่างของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าประมาณ 5.5 ขณะที่ของผลึกฟลูออราพาไทต์มีค่าประมาณ 4.5 ดังนั้นเมื่อความเป็นกรดต่างภายในช่องปากมีค่าลดลงจนถึง 5.5 ไฮดรอกซีอะพาไทต์จะละลายออกมา ขณะที่ฟลูออราพาไทต์ยังคงสภาพเป็นผลึกอยู่ในระหว่างนั้นหากมีฟลูออไรด์ไอออนอยู่โดยรอบฟัน ไอออนของแคลเซียมฟอสเฟตจะรวมตัวกับฟลูออไรด์ แล้วตกตะกอนเป็นฟลูออราพาไทต์กลับคืนสู่ผิวฟันได้ทันที ดังแสดงในรูปที่ 3^[1,3]

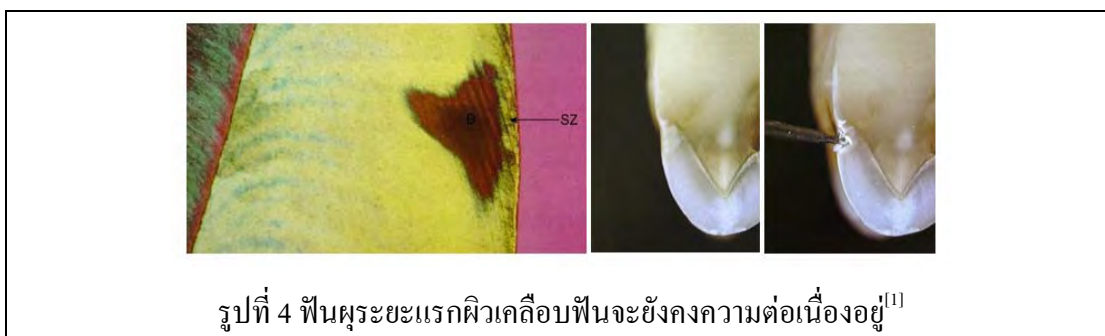
รอยโรคฟันผุในระยะเริ่มแรกจะไม่ปรากฏเป็นหลุมที่ผิวเคลือบฟัน แต่พบว่าที่ชั้นใต้ผิวฟัน มีการสูญเสียแร่ธาตุ ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมให้เอื้ออำนวยต่อการกลับคืนของแร่ธาตุสู่ฟัน เคลือบฟันก็สามารถกลับมาแข็งแรงดังเดิมได้ แต่หากค่า

ความเป็นกรดต่างลดต่ำลงจนถึง 4.5 ทั้งไฮดรอกซีอะพาไทต์ และฟลูออราพาไทต์ ก็จะละลายออกมาด้วยกัน รอยโรคฟันผุจึงลุกลามอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดเป็นรูเปิดที่ผิวเคลือบฟัน^[1,3]

ฟลูออไรด์จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุได้สูงสุดต่อเมื่อมีฟลูออไรด์อยู่ล้อมรอบผิวฟันขณะมีการสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้น โดยฟลูออไรด์ไอออนมีผลโดยตรงต่อพลศาสตร์การละลายและการตกตะกอนของแร่ธาตุ^[3] การพัฒนาของรอยโรคฟันผุนั้นกระทั่งเกิดเป็นรูที่ผิวฟันจะถูกยับยั้งเมื่อฟันอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฟลูออไรด์ โดย Yamazaki และคณะ พบว่าฟลูออไรด์ความเข้มข้นเพียง 0.19 พีพีเอ็ม สามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุจากเคลือบฟันปกติได้ แต่สำหรับฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้นแล้วจะต้องใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2.1 พีพีเอ็ม จึงจะทำให้มีการตกตะกอนของแร่ธาตุกลับคืนสู่ผิวฟัน และต้องใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงถึง 25 พีพีเอ็ม จึงจะทำให้การกลับคืนของแร่ธาตุเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์^[23] Carey และคณะ พบว่า ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม สามารถช่วยป้องกันการกัดกร่อนของฟันได้^[24] Margolis และคณะ พบว่าการปกป้องผิวเคลือบฟันจะปรากฏให้เห็นเมื่อมีฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม^[25] Abrahams และคณะ พบว่าการสัมผัสกับฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม อย่างต่อเนื่อง สามารถส่งเสริมการสะสมแร่ธาตุกลับคืนสู่ผิวเคลือบฟันได้^[26] ขณะที่ ten Cate และ Duijsters พบว่า ที่ความเป็นกรดต่าง 4.5 จำเป็นต้องมีฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม จึงจะเพียงพอสำหรับการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ^[27] จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าฟันที่ได้สัมผัสกับฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำอยู่ตลอดเวลาจะไม่เกิดการผุ



รูปที่ 3 กระบวนการสูญเสียและการกลับคืนของแร่ธาตุสู่ผิวฟัน^[3]



รูปที่ 4 ฟันผุระยะแรกผิวเคลือบฟันจะยังคงความต่อเนื่องอยู่^[1]

5. การสะสมฟลูออไรด์ของฟัน

ฟันประกอบด้วยโครงสร้างที่สะสมแร่ธาตุได้อยู่ 3 ส่วน คือ เคลือบฟัน เนื้อฟัน และเคลือบรากฟัน โดยแต่ละส่วนจะมีการสะสมฟลูออไรด์ที่แตกต่างกันไป

5.1. เคลือบฟัน

เคลือบฟันเป็นโครงสร้างที่มีแร่ธาตุสะสมมากที่สุด ระหว่างที่เคลือบฟันอยู่ในกระบวนการเจริญและพัฒนา ส่วนผลึกของเคลือบฟันสามารถดูดซับฟลูออไรด์จากน้ำและอาหารได้ทันที ฟลูออไรด์ที่ได้รับในระยะนี้จะต้องมีปริมาณที่พอเหมาะ หากได้รับมากเกินไป จะมีผลกระทบต่อระบบควบคุมการเจริญและพัฒนาของเคลือบฟัน โดยขัดขวางการเจริญของผลึก^[3]

ในเวลาที่ฟันสะสมแร่ธาตุยังไม่สมบูรณ์ฟลูออไรด์จะมีการสะสมสูงสุดที่ผิว เมื่อฟันขึ้นสู่ช่องปากแล้วเคลือบฟันด้านในสุดจะมีฟลูออไรด์สะสมอยู่ระดับหนึ่งจากนั้นปริมาณจะเพิ่มสูงขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) ในชั้นถัดไปจนกระทั่งถึงชั้นผิว นอกจากนี้แล้วผิวฟันในตำแหน่งต่างๆ ยังมีฟลูออไรด์สะสมในปริมาณที่แตกต่างกันไป และมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุและการใช้งานของฟัน ในเด็กบริเวณที่มีฟลูออไรด์สะสมสูงสุดคือที่ปลายฟัน แต่เมื่ออายุมากขึ้นบริเวณปลายฟันจะมีฟลูออไรด์สะสมต่ำสุดซึ่งเป็นผลจากการสึกของฟันขณะใช้งาน^[3]

การแทรกซึมของฟลูออไรด์เข้าไปในเคลือบฟันที่สะสมแร่ธาตุเต็มที่แล้วเกิดขึ้นได้ยากเนื่องจากเคลือบฟันมีความหนาแน่นสูง (ประมาณ 2.98 กรัม/มิลลิลิตร) และมีรูพรุนต่ำ (ประมาณร้อยละ 0.1 ช่องว่างโดยปริมาตร) เพื่อให้เคลือบฟันมีฟลูออไรด์สะสมเพิ่มมากขึ้นมีความจำเป็นต้องทำให้เคลือบฟันมีรูพรุนเกิดขึ้นก่อน ฟลูออไรด์เสริมความเข้มข้นสูงที่ใช้โดยทันตแพทย์จึงต้องเตรียมให้มีค่าความเป็นกรดต่ำ เพื่อให้เคลือบฟันมีรูพรุนและพร้อมรับฟลูออไรด์ที่ตกลงไป^[3] การมีฟลูออไรด์อยู่ล้อมรอบฟันตลอดเวลาจึงเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการคงสภาพฟันให้มีความแข็งแรงตลอดอายุการใช้งาน

5.2. เนื้อฟัน

เนื้อฟันเป็นโครงสร้างที่มีส่วนโครงร่างคอลลาเจน (collagenous matrix) คงอยู่ตลอดกระบวนการสะสมแร่ธาตุ จึงทำให้ผลึกอะพาไทต์ในส่วนนี้มีขนาดเล็กกว่าและมีความเป็นผลึกต่ำกว่าที่พบในชั้นเคลือบฟัน ความสามารถในการสะสมฟลูออไรด์ในชั้นนี้จึงมีสูงกว่าในชั้นเคลือบฟัน ประกอบกับการมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อจึงทำให้เนื้อเยื่อมีความอึดน้ำ (tissue hydration) สูง ทั้งยังมีการเจริญได้ตลอดอายุของฟัน จึงพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในชั้นเนื้อฟันมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอายุ 40 ปี จึงคงที่และคงอยู่ในระดับที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในสิ่งแวดล้อม^[3]

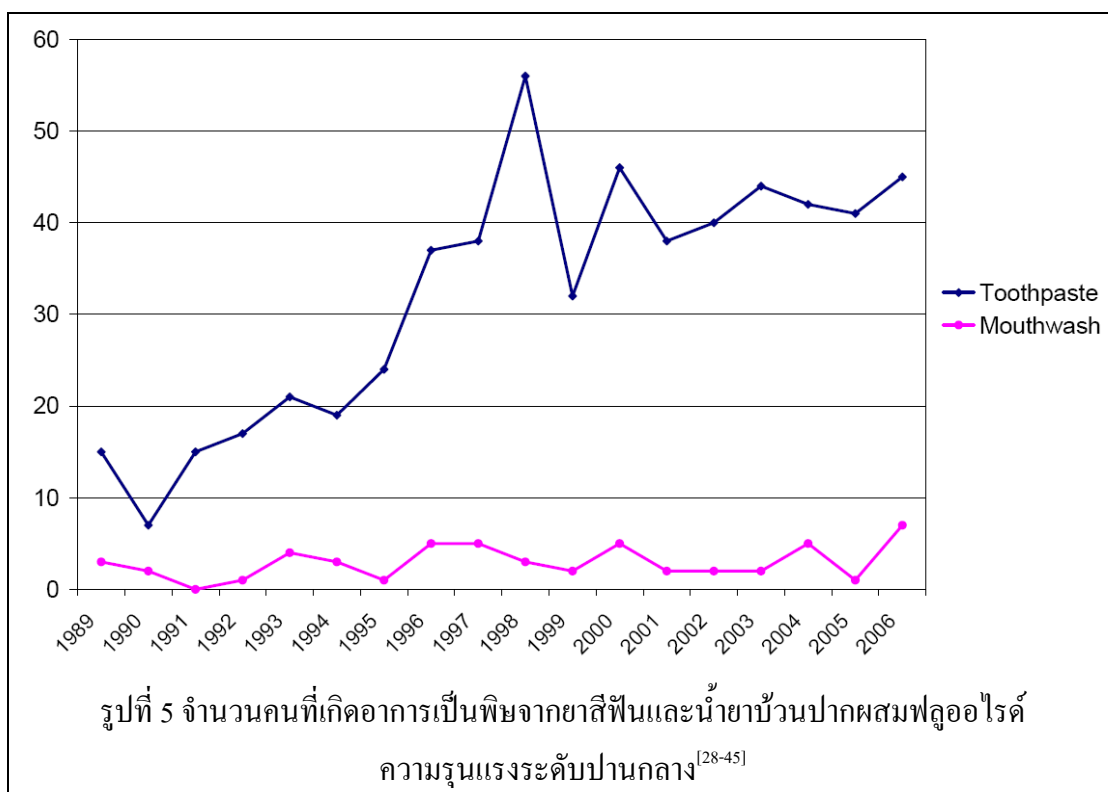
5.3. เคลือบรากฟัน

เคลือบรากฟันมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ปกคลุมผิวรากฟันอยู่ และเป็น โครงสร้างที่มีโครงร่างคอลลาเจนเช่นเดียวกันกับเนื้อฟัน จึงประกอบด้วยผลึกอะพาไทต์ขนาดเล็กที่มีความเป็นผลึกต่ำ ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการสะสมฟลูออไรด์^[3]

6. ความเป็นพิษของฟลูออไรด์

ก่อนหน้าที่จะมีการนำฟลูออไรด์มาใช้ในงานสาธารณสุขโดยการเติมลงในน้ำดื่ม ฟลูออไรด์เป็นสารที่ใช้สำหรับการกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ อาการเป็นพิษจากฟลูออไรด์ที่เกิดขึ้นมักเป็นการเข้าใจผิดว่าเป็น นมผง โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) หรือ แมกเนเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate) จึงนำไปผสมลงในอาหาร^[3]

สมาคมอเมริกันของศูนย์ควบคุมพิษ (The American Association of Poison Control Center; AAPCC) รายงานว่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989-2006 มีอาการเป็นพิษจากการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ ความรุนแรงระดับปานกลาง 577 ราย ความรุนแรงระดับสูง 12 ราย และตาย 1 ราย โดยผู้ตายกินยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ร่วมกับโคเคนเพื่อฆ่าตัวตาย สำหรับอาการเป็นพิษจากน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์นั้น พบว่ามีความรุนแรงระดับปานกลาง 53 ราย และความรุนแรงระดับสูง 1 ราย^[28-45] และมีสถิติการเกิดอาการเป็นพิษระดับปานกลางดังแสดงในรูปที่ 5 นอกจากนี้แล้วยังมีรายงานการตายจากฟลูออไรด์รูปแบบอื่น คือ ได้รับสารละลายสแตนนัสฟลูออไรด์ (stannous fluoride) เพื่อผสมกับยากิน เนื่องจากเข้าใจผิดว่าเป็นน้ำกลั่น^[28] และ กินโซเดียมฟลูออไรด์เพื่อฆ่าตัวตาย^[32]



รายงานความเป็นพิษของฟลูออไรด์ที่ถูกอ้างถึงมากที่สุดคือ การศึกษาจากรายงานผู้ป่วยโดย Hodge และ Smith ที่ตีพิมพ์ในปี ค.ศ.1965 ซึ่งพบว่า ในคนน้ำหนัก 70 กิโลกรัม การได้รับโซเดียมฟลูออไรด์ 5-10 กรัม ทำให้ถึงตายอย่างแน่นอน ซึ่งเมื่อคำนวณกลับไปเป็นปริมาณฟลูออไรด์ ทำให้ทราบขนาดมรณะ 100 (LD₁₀₀) ของฟลูออไรด์ในผู้ใหญ่ คือ 32-64 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในเด็ก คือ มากกว่า 15 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม^[3]

รายงานการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 95 พีพีเอ็ม มีผลกระทบต่อการทำหน้าที่หลังสารและคุณสมบัติของเยื่อเมือกกระเพาะอาหาร ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 190 พีพีเอ็ม สามารถทำลายเยื่อเมือกกระเพาะอาหารของหนูได้ โดยมีอาการแสดงตั้งแต่เส้นเลือดขยายตัว มีเลือดออก สูญเสียชั้นกล้ามเนื้อ และมีการหลุดลอกของเซลล์เมือกเป็นหย่อมๆ การใช้ผลิตภัณฑ์ผสมฟลูออไรด์แบบเฉพาะที่จึงมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้ทางระบบ และปริมาณฟลูออไรด์ที่ผสมในผลิตภัณฑ์ที่ใช้เองจะต้องไม่ทำให้มีความเสี่ยงสูงในการเกิดเป็นพิษ สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงที่ใช้โดยทันตแพทย์นั้น ต้องมีวิธีการป้องกันไม่ให้มีการกลืนฟลูออไรด์จนถึงระดับที่ทำให้เกิดเป็นพิษได้^[3]

มนุษย์ได้รับฟลูออไรด์ทางระบบจากหลายแหล่ง อาทิเช่น แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำในชุมชนที่ผสมฟลูออไรด์ อาหาร และฟลูออไรด์เสริมรูปแบบเม็ด นอกจากนี้แล้วยังได้รับ

โดยการกลืนยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ หรือได้รับในระหว่างการให้ฟลูออไรด์ ความเข้มข้นสูงแบบเฉพาะที่โดยทันตแพทย์ จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะได้รับฟลูออไรด์เกินขนาด โดยเฉพาะในเด็กเล็ก

การได้รับฟลูออไรด์เกินขนาดอย่างต่อเนื่องในระหว่างที่มีการสร้างเคลือบฟันมีผลให้ฟันมีความผิดปกติที่เรียกว่า ฟลูออโรซิส (fluorosis) หรือ ฟันตกกระ ซึ่งมีความรุนแรงหลายระดับตามปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับฟลูออไรด์เกินขนาด โดยมีได้ตั้งแต่ปรากฏเป็นเส้นขาวเล็กๆ เป็นแนวยาวตามขวางของซี่ฟัน เส้นขาวทึบ ปื้นขาวทึบ ฟันขาวทึบทั้งซี่ เคลือบฟันกระเทาะออกและเกิดเป็นหลุมเล็กๆ จนถึงเป็นปื้นใหญ่^[3, 46] การพิจารณาให้ฟลูออไรด์เสริมแก่เด็กอายุต่ำกว่า 8 ปี จำเป็นต้องทราบปริมาณฟลูออไรด์ที่มีในน้ำดื่มก่อนเสมอ โดยหน่วยงานสาธารณสุขแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Public Health Service) แนะนำว่าปริมาณฟลูออไรด์ที่เหมาะสมสำหรับป้องกันฟันผุควรอยู่ในช่วง 0.7-1.2 พีพีเอ็ม^[46] และมีแผนการให้ฟลูออไรด์เสริมในเด็กดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการให้ฟลูออไรด์เสริมในเด็กโดยสมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา^[46]

อายุ	ฟลูออไรด์ในน้ำดื่ม (พีพีเอ็ม)		
	<0.3	0.3-0.6	>0.6
แรกเกิด-6 เดือน	ไม่ให้	ไม่ให้	ไม่ให้
6 เดือน-3 ปี	0.25 มิลลิกรัม/วัน	ไม่ให้	ไม่ให้
3-6 ปี	0.50 มิลลิกรัม/วัน	0.25 มิลลิกรัม/วัน	ไม่ให้
6-16 ปี	1.0 มิลลิกรัม/วัน	0.50 มิลลิกรัม/วัน	ไม่ให้

ผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติครั้งที่ 5 พ.ศ.2543-2544 พบว่า เด็กอายุ 12 ปี มีฟันตกกระร้อยละ 10.6 โดยส่วนใหญ่มีความรุนแรงอยู่ในระดับสงสัยสัย และระดับน้อยมาก ในภาคเหนือมีการเกิดสูงสุด รองลงมาคือ ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีค่าร้อยละ 23.2, 15.5, 3.9 และ 3 ตามลำดับ^[21] สาเหตุที่ทำให้เด็กเหล่านี้มีฟันตกกระ คือ การบริโภคน้ำที่มีฟลูออไรด์สูง

หลายพื้นที่ในประเทศไทยเป็นแหล่งแร่ฟลูออไรด์ กรมทรัพยากรธรณีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รายงานว่า พื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ฟลูออไรด์ มีดังนี้ 1) บริเวณอำเภอปายและแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีแหล่งสำคัญคือกลุ่มแหล่งแร่ห้วยยะ อำเภอปาย และกลุ่มเหมืองแร่แม่ลาหลวง อำเภอแม่ลาน้อย 2) บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และตาก ได้แก่ ในเขตอำเภอแม่เฒ่า ฝาง เชียงดาว สะเมิง แม่แจ่ม จอมทอง และอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอแม่ทาและบ้านโฮ้ง จังหวัดลำพูน และอำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก แหล่งที่สำคัญคือกลุ่ม

เหมืองแร่ห้วยน้ำขาว อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ และเขตติดต่อกับอำเภอ ท่าสองยาง จังหวัดตาก 3) บริเวณจังหวัดกาญจนบุรี และเพชรบุรี ได้แก่ ในบริเวณอำเภอเมือง ทองผาภูมิ ศรีสวัสดิ์ และพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี และบริเวณเหนือเขื่อนแก่งกระจานจนถึงอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี 4) บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานีและกระบี่ โดยเฉพาะในเขตอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่^[47]

เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคจึงมีประกาศหลายฉบับเรื่องการควบคุมปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำบริโภค ดังนี้ ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 พ.ศ.2524 เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ได้ระบุให้มีฟลูออไรด์โดยคำนวณเป็นฟลูออรีน ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร (พีพีเอ็ม)^[48] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 พ.ศ.2542 ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ได้กำหนดมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ควรมีฟลูออไรด์ไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัม/ลิตร^[49] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 199 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำแร่ธรรมชาติ ข้อ 8 การแสดงฉลากของน้ำแร่ธรรมชาติ โดยให้แสดงค่าเค็มนซึ่งมีขนาดความสูงไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ให้เห็นชัดเจนในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงพื้นขาว ดังต่อไปนี้ “มีฟลูออไรด์” สำหรับน้ำแร่ธรรมชาติที่มีปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร และ ต้องเพิ่มคำเตือน “ผลิตภัณฑ์นี้ไม่เหมาะสำหรับทารกและเด็กที่อายุต่ำกว่า 7 ปี” สำหรับน้ำแร่ธรรมชาติที่มีปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร^[50]

7. ฟลูออไรด์เสริมเฉพาะที่

การเสริมฟลูออไรด์เฉพาะที่เป็นวิธีการที่ปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถทำได้ด้วยตนเองหรือโดยทันตแพทย์ ปริมาณฟลูออไรด์ที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ทางทันตกรรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยผลิตภัณฑ์เสริมฟลูออไรด์ที่ใช้เองจะมีฟลูออไรด์ความเข้มข้นไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดพิษจากการได้รับเกินขนาด จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้ซ้ำบ่อยๆ ยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปากเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมผสมฟลูออไรด์มากที่สุดเนื่องจากใช้เป็นประจำทุกวัน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ภายในช่องปากก็มีการผสมฟลูออไรด์เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ไม้ขัดฟัน ไม้จิ้มฟัน และหมากฝรั่ง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้โดยทันตแพทย์มักเตรียมขึ้นในรูปเจลและวานิชที่ผสมฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูง เพื่อหวังผลในการป้องกันฟันผุที่ยาวนานกว่า โดยมักทำซ้ำทุกๆ 6 เดือน หรืออาจบ่อยกว่านี้หากพิจารณาแล้วเห็นว่าเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง อย่างไรก็ตามเนื่องจากการชะล้างฟลูออไรด์ออกจากช่องปากเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 30 นาที หรือ 2 ชั่วโมงซึ่งแตกต่างกันไปตามรูปแบบของผลิตภัณฑ์^{1, 3)} จึงมีความพยายามคิดค้นผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณฟลูออไรด์ในผลิตภัณฑ์ทางทันตกรรม^[3]

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณฟลูออไรด์ (พีพีเอ็ม)
ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์	500-1500
น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์สำหรับใช้ทุกวัน	200-230
น้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์สำหรับใช้ทุกสัปดาห์	910
ฟลูออไรด์เจลสำหรับใช้ที่บ้าน	5,000
ฟลูออไรด์เจลสำหรับใช้โดยทันตแพทย์	5,000-10,000
ฟลูออไรด์วานิช	26,000

ระบบปลดปล่อยฟลูออไรด์ภายในช่องปาก (intra oral fluoride release system) ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นเครื่องมือที่คิดค้นขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดฟันผุในผู้ที่มีความเสี่ยงสูง ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจะคงที่และมีปริมาณเพียงพอสำหรับการป้องกันฟันผุ การปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและยาวนานเป็นเดือนหรือปี^[51]

ระบบปลดปล่อยฟลูออไรด์ภายในช่องปาก เป็นระบบนำส่งยาที่เตรียมขึ้นในรูปแบบเม็ดหรือแผ่น ประกอบด้วย 2 ชั้น คือ ชั้นนอกเป็น พอลิเมอร์ร่วมของไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต/เมทิลเมทาคริเลต (copolymer of hydroxyethylmethacrylate/methylmethacrylate) ที่เตรียมด้วยสัดส่วน 50:70 โดยโมล ทำหน้าที่ควบคุมการปลดปล่อยฟลูออไรด์ให้คงที่ ส่วนแกนกลางเป็น โซเดียมฟลูออไรด์ผสมกับพอลิเมอร์ร่วมของไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต/เมทิลเมทาคริเลต ที่เตรียมด้วยสัดส่วน 50:50 โดยโมล ทำหน้าที่เป็นแหล่งสำรองฟลูออไรด์ ระบบนี้สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกสู่ช่องปากได้วันละ 0.04-0.5 มิลลิกรัม อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4-6 เดือน อย่างไรก็ตาม วัสดุขนาดใหญ่และต้องใช้อุปกรณ์เพื่อช่วยในการยึดติดให้อยู่ภายในช่องปาก จึงอาจทำให้เกิดความรำคาญ หรืออาจเกิดปัญหาการหลุดของอุปกรณ์ในระหว่างการใช้ได้^[51-54]

รูปที่ 6 ระบบปลดปล่อยฟลูออไรด์ภายในช่องปาก^[52-54]

ฟลูออไรด์นอกจากจะช่วยส่งเสริมการกลับคืนของแร่ธาตุผู้ฟันแล้ว เมื่อฟลูออไรด์อยู่ในรูปของ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (hydrogen fluoride; HF) ยังสามารถแพร่ผ่านเข้าสู่เซลล์ของเนื้อจุกซี่ฟ และมีผลยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต ทำให้การผลิตสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดลดลง โดยการใช้เพื่อหวังผลในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์จะต้องใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม^[3]

8. การเสริมฟลูออไรด์ในวัสดุบูรณะฟัน

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีความพยายามในการพัฒนาวัสดุบูรณะฟันหลายชนิดให้ มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์เพื่อหวังผลในการป้องกันฟันผุ อย่างไรก็ตามวัสดุแต่ละชนิดก็ประสบความสำเร็จมากน้อยแตกต่างกันไป

8.1. กลาสไอโอโนเมอร์

กลาสไอโอโนเมอร์เป็นวัสดุทางทันตกรรมชนิดแรก ที่สามารถปลดปล่อยและประจุฟลูออไรด์กลับได้ โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ผงแก้วแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกต (calcium fluoroaluminosilicate glass) และ กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) เหลว เมื่อผสมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน กรดพอลิอะคริลิกจะละลายผิวแก้ว ทำให้มีไอออนหลุดออกมาและกระจายตัวอยู่ในโครงร่างพอลิเมอร์ โดยไอออนแคลเซียมจะทำหน้าที่เชื่อมขวางสายโซ่ของกรดพอลิอะคริลิกเข้าไว้ด้วยกันก่อน จากนั้นไอออนอะลูมิเนียมจะเข้ามาแทนที่ภายใน 24 ชั่วโมง วัสดุจึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สำหรับไอออนที่เหลือรวมทั้งฟลูออไรด์จะกระจายตัวอยู่ในโครงร่างพอลิเมอร์ที่อึดน้ำและพร้อมสำหรับการแพร่ออกจากวัสดุ^[55]

การที่มีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกจากวัสดุในช่วงแรกมากนั้น เนื่องจากมีไอออนฟลูออไรด์สะสมภายในโครงร่างพอลิเมอร์อยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยจะลดน้อยลงเรื่อยๆ จนกระทั่งคงที่ โดยในช่วงนี้จะเริ่มมีไอออนฟลูออไรด์ค่อยๆ ละลายออกมาจากส่วนแก้วเพื่อทดแทนส่วนที่ปลดปล่อยออกไป ด้วยเหตุนี้การปลดปล่อยฟลูออไรด์จึงเกิดได้นาน ตั้งแต่เป็นเดือน จนถึงมากกว่า 3 ปี^[56]

แม้ว่ากลาสไอโอโนเมอร์จะมีข้อดีคือ การปลดปล่อยฟลูออไรด์ แต่กลับมีข้อด้อยสำคัญคือมีสมบัติเชิงกลต่ำจึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว จึงมีความพยายามในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุให้ดีขึ้น ขณะที่ยังคงความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไว้ โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ตัวอย่างเช่น กลาส

ไอโอโนเมอร์เสริมโลหะ (metal-reinforced glass ionomer) กลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเรซิน (resin-modified glass ionomer) คอมพอมเมอร์ (compomer) ไอโอเมอร์ (giomer) ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่แตกต่างกันไป^[55, 56]

8.2. กลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเรซิน

กลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเรซิน เป็นการปรับปรุงกลาสไอโอโนเมอร์โดยการแทนที่บางส่วนของกรดพอลิอะคริลิกด้วยมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ได้ การก่อตัวของวัสดุจึงเกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ และ ปฏิกิริยากรด-ด่าง วัสดุจึงมีทั้งความแข็งแรงและปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ วัสดุชนิดนี้เตรียมขึ้นในรูปผงและของเหลวที่นำมาผสมกันก่อนใช้ ส่วนผงประกอบด้วย แก้วแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกต และตัวริเริ่มปฏิกิริยา ส่วนของเหลวประกอบด้วย น้ำ และกรดพอลิอะคริลิกที่ปรับปรุงด้วยมอนอเมอร์ชนิดเมทาคริเลต และไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต^[55]

8.3. คอมพอมเมอร์ หรือ คอมพอสิตที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอซิด

คอมพอมเมอร์ หรือ คอมพอสิตที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอซิด เป็นวัสดุคอมพอสิตที่ผสมสารแทรกที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ วัสดุนี้อยู่ 2 ชนิด คือ วัสดุสำหรับงานบูรณะฟัน และ ซีเมนต์สำหรับอุดกันรั่ว (luting cement) คอมพอมเมอร์สำหรับงานบูรณะฟันเตรียมขึ้นในรูปหลอดเดี่ยวเพื่อให้ใช้สะดวก มีส่วนประกอบคือ แก้วซิลิเกต (silicate glass) โซเดียมฟลูออไรด์ และมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในวัสดุคอมพอสิตที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอซิด การก่อตัวของวัสดุจึงเกิดขึ้นได้ 2 ระยะ คือ ระยะแรกเป็นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ระยะต่อมาเป็นปฏิกิริยากรด-ด่างที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุดูดซับน้ำเข้าไป แต่เนื่องจากปฏิกิริยากรด-ด่างไม่ได้เกิดขึ้นตั้งแต่แรกวัสดุนี้อาจไม่มีสมบัติยึดติดกับฟันเช่นที่พบในกลาสไอโอโนเมอร์ธรรมดา และปลดปล่อยฟลูออไรด์น้อย^[55]

ซีเมนต์สำหรับอุดกันรั่วเตรียมขึ้นในรูปผงกับของเหลว หรือ เพสต์สองหลอด ส่วนผงประกอบด้วย แก้วสตรอนเทียมอะลูมิเนียมฟลูโรซิลิเกต (strontium aluminium fluorosilicate glass) โลหะออกไซด์ และ สารริเริ่มปฏิกิริยา ส่วนของเหลวประกอบด้วย มอนอเมอร์ร่วม เมทาคริเลต/กรดคาร์บอกซิลิก มอนอเมอร์อะคริเลตหลายหมู่ฟังก์ชัน (multifunctional acrylate monomer) และ น้ำ เนื่องจากปฏิกิริยากรด-ด่างเกิดขึ้นทันทีที่ผสม วัสดุนี้อาจมีสมบัติยึดติดกับฟัน และมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่าชนิดที่ใช้สำหรับงานบูรณะฟัน^[55]

8.4. คอมพอลิเมอร์

คอมพอลิเมอร์เป็นวัสดุบูรณะสีเหมือนฟันที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงบดเคี้ยว โครงสร้างของคอมพอลิเมอร์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ โครงร่างพอลิเมอร์สำหรับยึดส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน สารแทรกสำหรับเสริมความแข็งแรง และสารคู่ควบ (coupling agent) สำหรับช่วยการยึดติดระหว่างส่วน โครงร่างกับสารแทรก^[55]

คอมพอลิเมอร์ทางทันตกรรมเป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมขวางสูง มีการเสริมแรงด้วยอนุภาค แก้ว ผลึก เรซิน หรือ เส้นใย โดยมีไซเลน (silane) สำหรับเชื่อมประสานส่วนประกอบทั้งสองเข้าด้วยกัน โครงร่างพอลิเมอร์เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ด้วยปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ มอนอเมอร์ที่นิยมใช้คือ มอนอเมอร์ฐานบิสฟีนอล เอ (biphenol A-glycidylmethacrylate; bis-GMA) และ ตัวเชื่อมขวางไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (triethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) และ/หรือ ยูรีเทนไดเมทาคริเลต (urethanedimethacrylate; UDMA)^[55]

การปรับปรุงคอมพอลิเมอร์ให้มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ ทำได้ 3 วิธี คือ ผสมเกลือฟลูออไรด์ที่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างเช่น โซเดียมฟลูออไรด์ และ สแตนนัสฟลูออไรด์ ผสมฟลูออไรด์ในรูปของสารแทรกเสริมความแข็งแรง ตัวอย่างเช่น แคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride; CaF₂) สตรอนเทียมฟลูออไรด์ (strontium fluoride; SrF₂) ยทเทอร์เบียมไตรฟลูออไรด์ (ytterbiumtrifluoride; YbF₃) และ แก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต และใช้พอลิเมอร์ที่มีฟลูออไรด์อยู่ในโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น เกลืออะคริลิก-เอมีน-ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (acrylic-amine-HF-salt) กรดเมทาคริลิก-ฟลูออไรด์ (methacryloyl acid-fluoride) และ เกลืออะคริลิก-เอมีน-แบเรียมไตรฟลูออไรด์ (acrylic-amine-BF₃)^[52, 56]

ปัญหาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากคอมพอลิเมอร์เป็นผลจาก สมบัติไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ ประกอบกับมีการเชื่อมขวางที่แน่นหนา น้ำจึงไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุและละลายฟลูออไรด์ออกมาได้โดยง่าย การปลดปล่อยฟลูออไรด์จึงเกิดขึ้นเฉพาะจากส่วนผิว ทั้งยังประสบปัญหาการยึดติดกับผิวฟันที่ลดลง และความแข็งแรงที่ลดลงซึ่งเป็นผลจากการละลายของฟลูออไรด์ ปัญหานี้พบในวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (sealant) ชนิดคอมพอลิเมอร์ที่ผสมเกลือฟลูออไรด์ที่ละลายน้ำ^[57] โดย Nakabo และคณะ พบว่าการเคลือบผิวโซเดียมฟลูออไรด์ และ โซเดียมเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต (sodium hexafluorosilicate; Na₂SiF₆) ด้วยไซลอกเซนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (γ -metacryloxypropyltrimethoxysilane; γ -MPTS) สามารถชะลอการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้^[58, 59]

การใช้พอลิเมอร์ที่มีฟลูออไรด์อยู่ในโครงสร้าง เป็นการแก้ปัญหาคความแข็งแรงของวัสดุที่ลดลงจากการละลายของฟลูออไรด์ที่แทรกอยู่ในเนื้อวัสดุ การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุชนิดนี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส^[57, 60] Tanaka และคณะ พบว่า การใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่มี พอลิเมอร์ร่วม เมทาคริลิฟลูออไรด์/เมทิลเมทาคริเลต (methacryloyl fluoride / methyl methacrylate copolymer; MF/MMA copolymer) ผสมกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต สามารถเพิ่มปริมาณฟลูออไรด์บนเคลือบฟันทั้งภายใน โครงสร้างและที่ผิวได้^[61]

8.5. อะมัลกัม

อะมัลกัมเป็นอัลลอยด์ที่ได้จากการผสมผงโลหะกับปรอท เป็นวัสดุที่มีความคงทนและทนทานต่อแรงบดเคี้ยวได้ดี แต่เนื่องจากไม่ยึดติดกับผิวฟันจึงมักประสบปัญหาการเกิดรอยร้าวระดับไมครอนที่บริเวณรอยต่อกับฟันซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดฟันผุภายหลังการอุดฟัน^[55] Innes และ Youdelis ได้ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ลงในอะมัลกัม เพื่อหวังผลในการป้องกันฟันผุ แต่พบปัญหาการผสมฟลูออไรด์ให้เป็นเนื้อเดียวกันกับปรอท^[62]

9. การเสริมฟลูออไรด์ในงานจัดฟันแบบติดแน่น

ผู้ป่วยที่จัดฟันโดยใช้เครื่องมือชนิดติดแน่นมักประสบปัญหาการทำมาสะอาดฟันเนื่องจากการขัดขวางโดยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ติดอยู่บนตัวฟัน การเกิดฟันผุในระหว่างจัดฟันจึงเกิดได้ง่าย เพื่อลดอุบัติการดังกล่าวจึงมีการพัฒนาวัสดุยึดแบรacket (bracket) และยางรัดฟัน (elastomeric ligature) ที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ เพื่อหวังผลเฉพาะที่ของฟลูออไรด์ โดย Wilshire พบว่ายางรัดฟันสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ในปริมาณที่เพียงพอต่อการป้องกันฟันผุได้ยาวนานถึง 6 เดือน^[63] ซึ่งสอดคล้องกับผลทางคลินิกที่พบว่าการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของการเกิดรอยจุดขาวบนผิวฟัน^[64] ขณะที่ Doherty และคณะ ไม่พบความแตกต่างของผลการป้องกันฟันผุจากการใช้ยางรัดฟันที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์^[65]

10. การศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะฟัน

การศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะฟันส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หน้า 1-1.5 มิลลิเมตร แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออน น้ำลาย หรือสารละลายที่จำลองสภาวะการศึกษา^[56] แต่ด้วยความแตกต่างในวิธีการ การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างการศึกษาจึงทำได้ยาก

การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุใช้วิธีการแพร่ผ่านโครงร่างพอลิเมอร์ ฟลูออไรด์ที่อยู่บริเวณผิวจึงปลดปล่อยออกไปได้เร็วกว่าที่อยู่ลึกลงไป นับเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สารประกอบฟลูออไรด์แตกตัวเป็นไอออนและปลดปล่อยออกมาจากวัสดุ วัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ดีเป็นวัสดุกลุ่มที่ก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรดต่าง คือ กลาสไอโอโนเมอร์ กลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเรซิน และคอมพอสิตที่ปรับปรุงด้วยพอลิแอซิดที่ใช้สำหรับงานฉาบผิวฟัน การแตกตัวเป็นไอออนของสารประกอบฟลูออไรด์ในวัสดุกลุ่มนี้เกิดขึ้นทันทีที่ผสม วัสดุจึงมีไอออนฟลูออไรด์สะสมอยู่ในส่วนโครงร่างที่พร้อมสำหรับการปลดปล่อยในช่วงต้น ขณะที่การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุคอมพอสิตและคอมพอเมอร์สำหรับงานอุดฟันจะเกิดขึ้นได้ ต้องรอให้มีน้ำแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุก่อน^[55, 56]

การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุจะสูงในช่วง 24-48 ชั่วโมงแรก จากนั้นจึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งคงที่ โดยการปลดปล่อยฟลูออไรด์จาก กลาสไอโอโนเมอร์ และกลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเรซิน มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับใจโอเมอร์ คอมพอเมอร์ และคอมพอสิต ดังแสดงในตารางที่ 3^[56]

ตารางที่ 3 ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุ^[56]

วัสดุ	24-48 ชั่วโมง (พีพีเอ็ม)	ช่วงคงที่ (พีพีเอ็ม)
กลาสไอโอโนเมอร์	5-155	0.9-4
กลาสไอโอโนเมอร์ปรับปรุงด้วยเรซิน	22-65	1-2
คอมพอสิต	0.04-2.7	0.02-2
คอมพอเมอร์	1-2.4	0.17-0.23
ใจโอเมอร์	4.54	0.06

ฟันที่อยู่ใกล้กับแหล่งฟลูออไรด์สามารถรับประโยชน์จากฟลูออไรด์ได้สูงสุด โดยปริมาณฟลูออไรด์สะสมที่ฟันมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ และระยะห่างจากรอยต่อ โดยที่บริเวณรอยต่อมีฟลูออไรด์สะสมความเข้มข้นสูงถึง 5-80 พีพีเอ็ม ซึ่งฟลูออไรด์บางส่วนจะถูกดูดซับสู่ผลึกอะพาไทต์และบางส่วนตกตะกอนเป็นแคลเซียมฟลูออไรด์ การใช้วัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์จึงมีประโยชน์ในการป้องกันฟันผุที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการบูรณะได้^[56]

11. การประจุฟลูออไรด์สู่วัสดุบูรณะฟัน

การศึกษาและทดลองประจุฟลูออไรด์สู่วัสดุบูรณะฟัน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้วัสดุกลับมาที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระดับที่เพียงพอต่อการป้องกันฟันผุได้อีกครั้ง โดยหลัก

การแล้วเมื่อการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุใช้วิธีการแพร่ การประจุฟลูออไรด์สู่วัสดุยอมใช้วิธีการเดียวกัน วัสดุที่ยอมให้น้ำแพร่ผ่านได้ดียอมสามารถปลดปล่อยและประจุฟลูออไรด์ได้ดีเช่นกัน อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายประการที่มีความเกี่ยวข้องกับการประจุฟลูออไรด์ อาทิเช่น ชนิด ความเข้มข้น ความเป็นกรดต่าง รูปแบบของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งความถี่ของการประจุนอกจากนี้แล้วการประจุฟลูออไรด์ยังอาจถูกขัดขวางโดยคราบจุลินทรีย์หรือสิ่งตกค้างบนผิวฟัน ก่อนการประจุจึงต้องทำความสะอาดผิววัสดุก่อนเสมอ^[56]

กลาสไอโอโนเมอร์เป็นวัสดุที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ดีกว่าคอมพอสิต การประจุฟลูออไรด์สู่วัสดุจึงทำได้ดีกว่าเช่นกัน ระยะแรกฟลูออไรด์ที่ประจุจะสะสมอยู่ที่ผิวก่อน เมื่อทำซ้ำไปเรื่อยๆ ฟลูออไรด์จะค่อยๆ แทรกซึมลึกเข้าสู่ในเนื้อ แม้ว่าจะสามารถทำการประจุฟลูออไรด์ได้ แต่ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาภายหลังการประจุนั้นมีค่าต่ำกว่าที่ปลดปล่อยออกมาในช่วงแรก และมักจะหมดไปภายใน 24 ชั่วโมง^[56] Soliman และคณะ ได้ทดลองประจุฟลูออไรด์สู่สารเคลือบฟันผสมฟลูออไรด์ที่ใช้ในงานจัดฟัน พบว่า ภายหลังการประจุโดยการแช่ในแอซิดคูลेटฟอสเฟตฟลูออไรด์ (acidulated phosphate fluoride; APF) ชนิดโพลี ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 นาน 5 นาที ล้างน้ำ 2 นาที แล้วเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในน้ำ 0.5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่ามีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกมา 0.354 ± 0.095 พีพีเอ็ม/สัปดาห์/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งวัสดุที่ทดสอบนี้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในสัปดาห์แรกเพียง 0.074 ± 0.04 พีพีเอ็ม/สัปดาห์/ตารางมิลลิเมตร และที่สัปดาห์ที่ 17 ก่อนทำการประจุมิฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกมาเพียง 0.014 ± 0.009 พีพีเอ็ม/สัปดาห์/ตารางมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยภายหลังการประจุได้ลดลงอย่างรวดเร็วและกลับมามีค่าใกล้เคียงกับก่อนการประจุภายใน 8 สัปดาห์ สำหรับการใส่ยาสีฟันผสมโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.24 เป็นเวลา 7 วันนั้น ไม่ได้ช่วยให้มีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเพิ่มขึ้นเลย^[66]

12. สารเคลือบผิวเรซินอะคริลิกทางทันตกรรม

สารเคลือบผิวเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางทันตกรรมที่ทำจากเรซินอะคริลิกมีผิวที่เรียบ มันวาว สวยงาม และติดคราบน้อยลง^[67-69] สารเคลือบผิวอะคริลิกมีส่วนประกอบหลักเป็นอะคริลิตหลายหมู่ฟังก์ชัน วัสดุจึงมีการเชื่อมขวางสูง มีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อม ตัวอย่างสารเคลือบทางการค้าแสดงในรูปที่ 7 คือ Luxatemp[®], Biscover[™], Plaquit และ Bosworth Glaze[™] โดยผลิตภัณฑ์สามชนิดแรกเป็นวัสดุที่กระตุ้นการเกิดเป็นพอลิเมอร์โดยใช้คลื่นแสงช่วงมองเห็น (visible light) สำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้ายนั้นเป็นวัสดุที่ก่อตัวโดยการระเหยของตัวทำละลาย จึงมีความแข็งแรงต่ำและหลุดลอกได้ง่าย



13. พอลิเมอร์สำหรับงานเคลือบผิว

พอลิเมอร์สำหรับงานเคลือบผิวมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่ก่อตัวโดยการระเหยของตัวทำละลาย และกลุ่มเทอร์โมเซตที่ก่อตัวโดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ การก่อตัวของสารเคลือบกลุ่มเทอร์โมพลาสติกจึงเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ตามการระเหยของตัวทำละลาย และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงต่ำกว่ากลุ่มเทอร์โมเซต การก่อตัวของสารเคลือบผิวกลุ่มเทอร์โมเซตสามารถควบคุมได้โดยการเลือกใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสม พอลิเมอร์กลุ่มเทอร์โมเซตที่ใช้สำหรับงานเคลือบผิวมีอยู่หลายชนิด ดังนี้ พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) อะคริลิก (acrylic) พอลิเมอร์ที่มีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารพีน (formaldehyde base polymers) ยูรีเทน (urethanes) ซิลิโคน (silicone) เรซินแอลคีด (alkyd resin) พอลิเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว (saturated polyester) และอีพ็อกซี (epoxy) สารเคลือบแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ วิธีการเกิดพอลิเมอร์ ความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง ฯลฯ^[70, 71]

สารเคลือบกลุ่มพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวและอะคริลิก มีปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ พอลิเมอร์ที่มีฟอร์มัลดีไฮด์และยูรีเทนเป็นสารพีน ใช้การทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับไซยาเนต (cyanate) ในการเกิดเป็นพอลิเมอร์ ซิลิโคนเป็นสารที่มีความแข็งแรงต่ำ ยืดหยุ่นและหลุดลอกจากเรซินอะคริลิกได้ง่าย แอลคีดเป็นสารที่การก่อตัวดำเนินไปอย่างช้าๆ ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) พอลิเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวเป็นสารที่ก่อตัวในอุณหภูมิสูงและหากต้องการให้การก่อตัวเกิดที่อุณหภูมิห้อง จะต้องใช้สารกลุ่มพอลิไอโซไซยาเนตร่วมด้วย สำหรับอีพ็อกซีนั้นเป็นสารที่นิยมใช้เป็นกาว^[70, 71]

14. อะคริลิก

อะคริลิกเรซินเป็นพอลิเมอร์กลุ่มเทอร์โมพลาสติก ที่มีต้นกำเนิดจากมอนอเมอร์หลายชนิด ตัวอย่างเช่น กรดอะคริลิก กรดเมทาคริลิก กรดไซยาโนอะคริลิก รวมทั้ง เอสเทอร์ของมอนอเมอร์เหล่านี้ สารกลุ่มอะคริลิกจึงมีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีสมบัติที่หลากหลายให้เลือกใช้

14.1. อะคริเลตหมู่ฟังก์ชันเดียว (monofunctional acrylate)

อะคริเลตหมู่ฟังก์ชันเดียวที่นิยมใช้ในทางทันตกรรม คือ มอนอเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้ร่วมกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมขึ้นในรูปผง โดยมอนอเมอร์จะละลายผงพอลิเมอร์ทำให้วัสดุมีลักษณะปั้นได้และพร้อมสำหรับการอัดเข้าแบบหล่อหรือขึ้นรูป^[55]

14.2. อะคริเลตหลายหมู่ฟังก์ชัน (multifunctional acrylate)

อะคริเลตหลายหมู่ฟังก์ชันเป็นสารที่ประกอบด้วย โซ่หลัก (backbone) ที่เป็นมอนอเมอร์ ไตรเมอร์ เตตราเมอร์ หรือ โอลิโกเมอร์ ชนิดต่างๆ และส่วนปลายที่เป็นหมู่ฟังก์ชันสำหรับการทำปฏิกิริยาและเกิดการเชื่อมขวาง พอลิเมอร์ที่ได้จึงมีสมบัติเฉพาะตามโซ่หลัก และ มีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมตามการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้น^[55]

ในทางทันตกรรมมักใช้อะคริเลตหลายหมู่ฟังก์ชันสำหรับเป็นส่วนพอลิเมอร์ของวัสดุบูรณะฟันชนิดคอมพอสิต และ วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ที่นิยมใช้คือ บิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ซึ่งเป็นอีพ็อกซีอะคริเลต ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างอีพ็อกซีเรซิน หรือ อนุพันธ์กลัยซิดิล (glycidyl derivatives) กับกรดอะคริลิก ทำให้มีพันธะคู่ที่ปลายทั้งสองของอีพ็อกซี สารนี้จึงรวมเอาสมบัติที่ดีของทั้งอีพ็อกซีและเอสเทอร์เข้าไว้ด้วยกัน คือ ใช้ได้ที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติเชิงกลดี ทนทานต่อสารเคมี เกิดเป็นร่างแหจากการเชื่อมขวาง และควบคุมการเกิดพอลิเมอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามด้วยความหนืดที่สูงจึงจำเป็นต้องผสมกับตัวเจือจางที่ไวต่อปฏิกิริยาเพื่อช่วยให้การใช้งานง่ายขึ้น โดยทางอุตสาหกรรมนิยมใช้สไตรีนมอนอเมอร์ ส่วนทางทันตกรรมนิยมใช้ไตรเอทิลีนกลัยคอลไดเมทาคริเลต และยูรีเทนไดเมทาคริเลต^[55, 72]

14.3. อะคริเลตพอลิเมอร์ (Polyacrylates)

พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นอะคริเลตพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในทางทันตกรรม โดยมีสมบัติคือ มีเสถียรภาพสูง โปร่งใส ยอมให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจนถึงความยาวคลื่น 250 นาโนเมตรผ่าน มีความแข็งแรง 18-20 มีความต้านแรงดึงประมาณ 60 เมกะปาสกาล (MPa) มีความ

หนาแน่น 1.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีมวลลึขของสภาพยืดหยุ่นประมาณ 2.5 จิกะปาสคาล (Gpa) พอลิเมทิลเมทาคริเลตสำหรับงานทันตกรรมมักเตรียมขึ้นในรูปผงและของเหลว โดยผงประกอบด้วยพรีพอลิเมอร์ และ สารริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ส่วนเหลวประกอบด้วย มอนอเมทิลเมทาคริเลต และ สารเร่งปฏิกิริยา ไดมทิลพาราโทลูดีน (N, N-dimethyl-p-toluidine)^[55, 73]

15. การเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิก

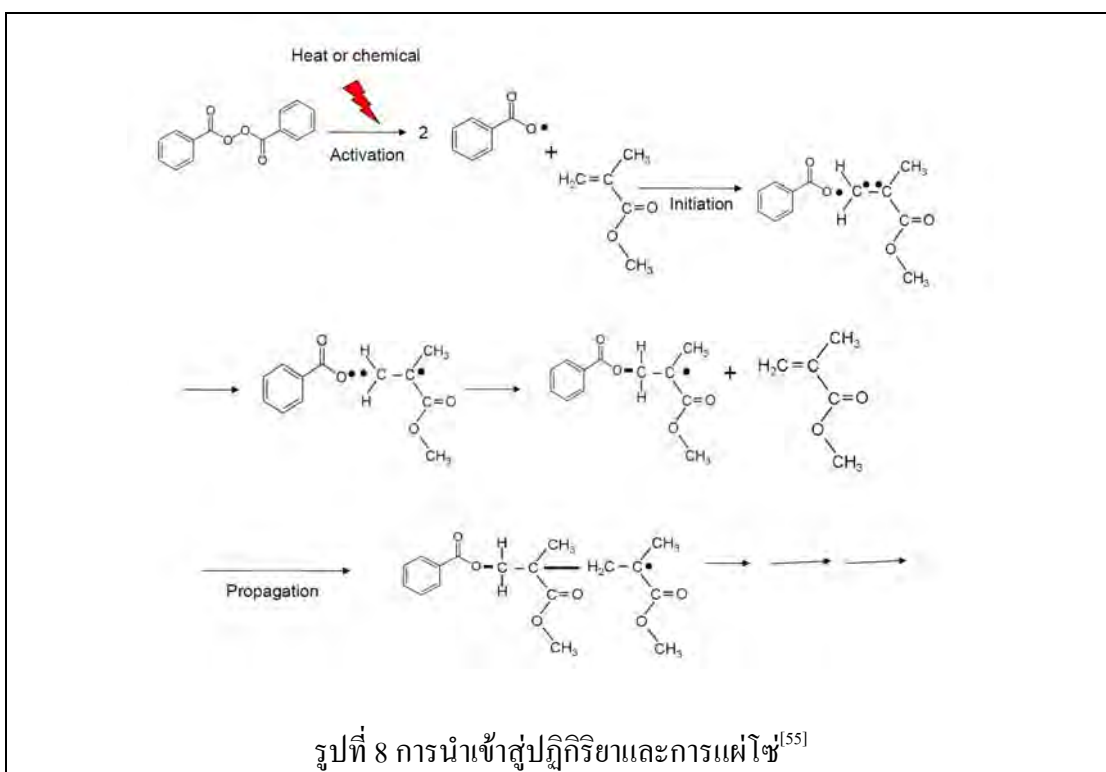
การเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิกเป็นปฏิกิริยาแบบเติม โดยมอนอเมอร์จะเติมเข้าไปเป็นลำดับในตำแหน่งปลายของสายโซ่ที่กำลังเจริญ โดยมีขั้นตอน คือ การนำเข้าสู่ปฏิกิริยา (induction) การแผ่โซ่ (chain propagation) การถ่ายโอนโซ่ (chain transfer) และการสิ้นสุดโซ่ (chain termination)^[55, 74]

15.1. การนำเข้าสู่ปฏิกิริยา

การนำเข้าสู่ปฏิกิริยา ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การกระตุ้น (activation) และการริเริ่ม (initiation) ปฏิกิริยาจะเริ่มขึ้นได้เมื่อโมเลกุลสร้างอนุมูลอิสระ (radical producing molecules) ถูกกระตุ้นและให้กำเนิดอนุมูลอิสระขึ้นมา โดยสิ่งกระตุ้นอาจเป็น สารเคมี ความร้อน แสงช่วงคลื่นมองเห็นหรือแสงอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เมื่ออิเล็กตรอนรั้วคูของอนุมูลอิสระเคลื่อนเข้าไปใกล้บริเวณพันธะคู่ซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่อย่างหนาแน่น อิเล็กตรอนจะถูกดึงออกมาเพื่อเข้าคู่กันกับอิเล็กตรอนรั้วคูของอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นพันธะระหว่างอนุมูลอิสระกับมอนอเมอร์ แล้วปล่อยให้อิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งของพันธะคู่อยู่โดดเดี่ยว และเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ที่มีอนุมูลอิสระเดิมติดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นตำแหน่งของอนุมูลอิสระใหม่ที่พร้อมสำหรับการช่วงชิงอิเล็กตรอนต่อไป^[55, 74] ดังแสดงในรูปที่ 8

การกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ในทางทันตกรรมมีทั้งใช้ความร้อน สารเคมี และแสงช่วงคลื่นมองเห็น วัสดุทำฐานฟันเทียมนิยมใช้ความร้อนในการกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ โดยสารที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ ที่เมื่อได้รับพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส จะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ 2 ตัว นอกจากนี้แล้วยังสามารถทำให้เกิดพอลิเมอร์ได้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิช่องปากโดยการใช้สารเคมีสำหรับกระตุ้นการริเริ่มปฏิกิริยา ตัวอย่างของระบบนี้ คือ เทอร์เชียรีเอมีน (tertiary amine) กับเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ โดยเอมีนจะเกิดเป็นสารประกอบกับเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ ซึ่งทำให้ความต้องการพลังงานความร้อนสำหรับการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระลดลง^[55]

การใช้แสงในการกระตุ้นการเข้าสู่ปฏิกิริยานิยมใช้สำหรับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน วัสดุบูรณะฟัน และซีเมนต์ โดยโฟตอนจากแสงจะทำหน้าที่ในการกระตุ้นการเกิดอนุมูลอิสระ ในระยะแรกแสงที่ใช้ในการกระตุ้น คือ แสงอัลตราไวโอเลต แต่เนื่องจากผลเสียที่อาจมีต่อสุขภาพ จึงพัฒนาไปเป็นการใช้แสงช่วงมองเห็นแทน โดยใช้สารเคมี คือ แคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) และออร์แกนิกเอมีน (organic amine) ที่เกิดเป็นอนุมูลอิสระเมื่อสัมผัสกับแสงช่วงสีฟ้า ถึง อัลตราไวโอเลต โดยมีความไวสูงสุดที่ช่วงคลื่นประมาณ 470 นาโนเมตร^[55, 75]

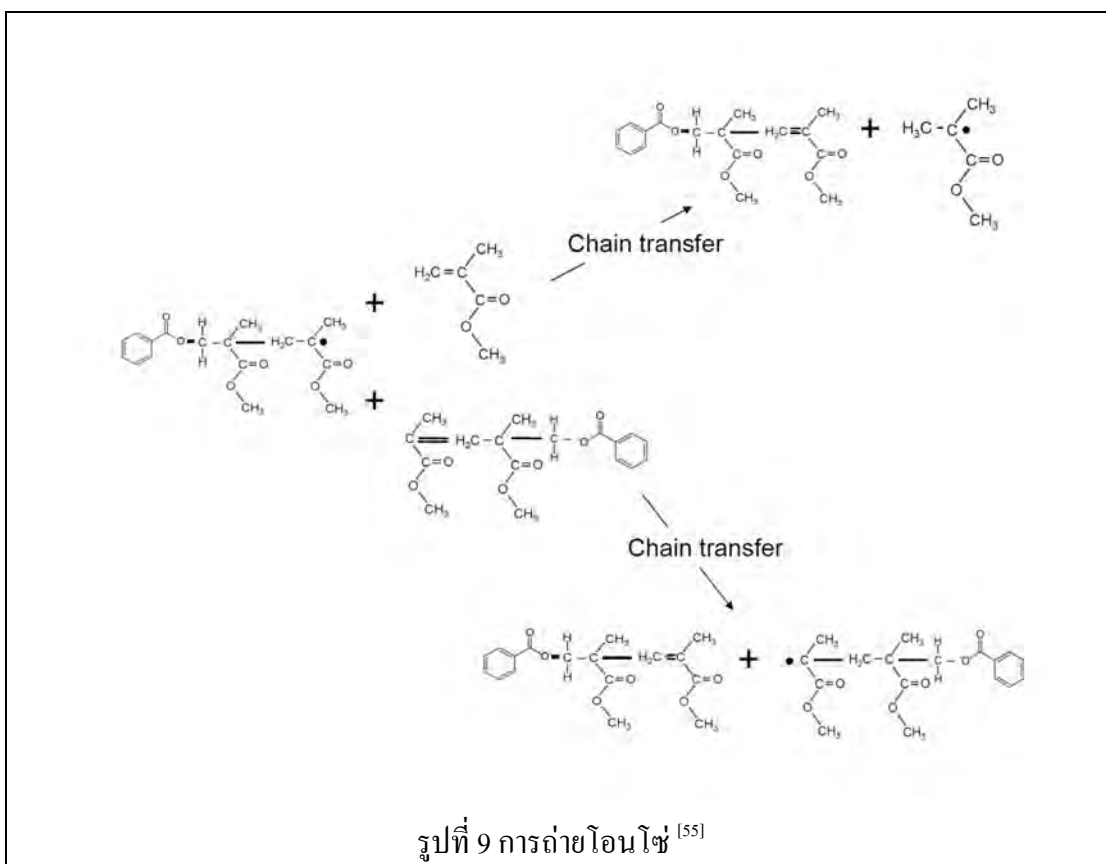


15.2. การแผ่โซ่

ขั้นตอนนี้เป็นการเจริญของพอลิเมอร์โดยการเพิ่มมอนอเมอร์เข้าไปในสายพอลิเมอร์เรื่อยๆ โดยเริ่มต้นจากสารเชิงซ้อนมอนอเมอร์ที่เป็นอนุมูลอิสระ เมื่อพบกับมอนอเมอร์ตัวอื่นก็จะเกิดพันธะระหว่างกันและก่อรูปเป็นไดเมอร์ (dimer) ที่ยังคงเป็นอนุมูลอิสระและสามารถเกิดพันธะกับมอนอเมอร์ตัวต่อไปได้ พอลิเมอร์จึงมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 ตามทฤษฎีแล้วปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมอนอเมอร์หมดไป แต่ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไม่เคยสมบูรณ์ โดยการเจริญจะสิ้นสุดลงเมื่อศูนย์กลางไวต่อปฏิกิริยา (reactive center) ถูกทำลายโดยปฏิกิริยาลิ้นสุด (termination reaction)^[74]

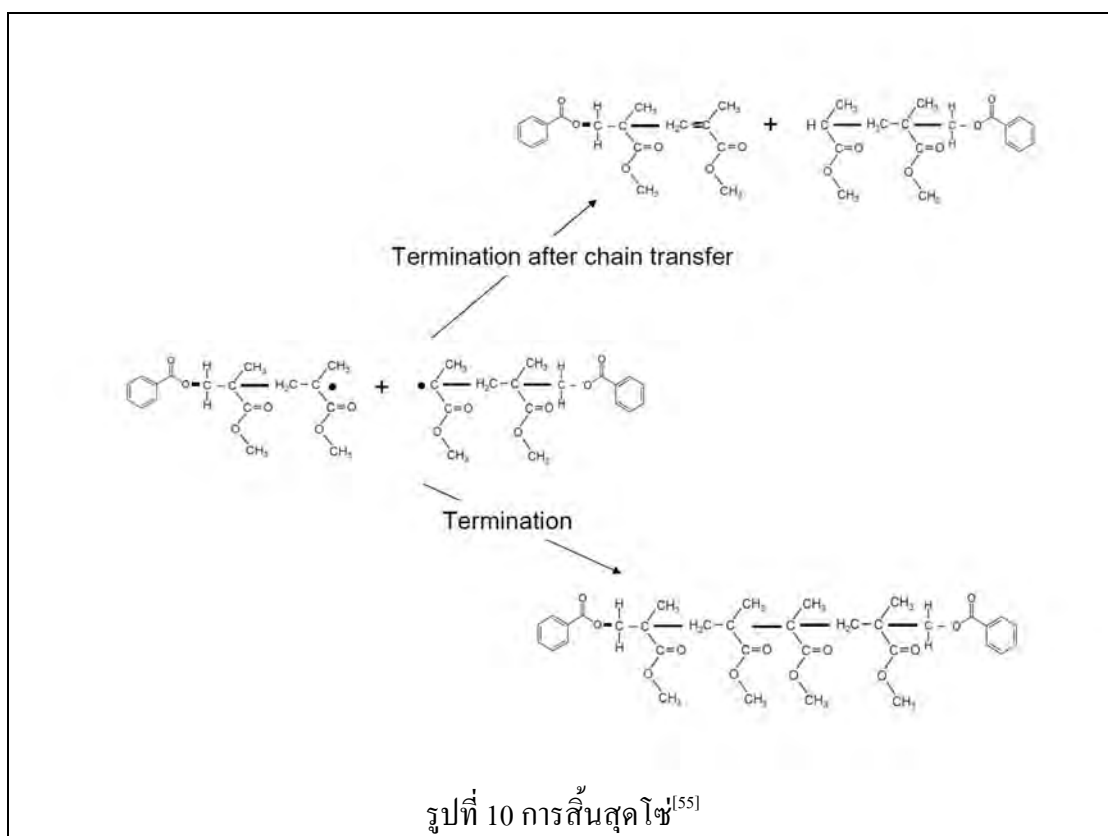
15.3. การถ่ายโอนโซ่

ขั้นตอนนี้ออนุมูลอิสระที่ไวต่อปฏิกิริยาและไฮโดรเจนไอออนของสายโซ่ที่กำลังเจริญจะถูกถ่ายโอนไปยังโมเลกุลอื่น ซึ่งอาจเป็นมอนอเมอร์ หรือสายโซ่พอลิเมอร์ที่ไม่ถูกกระตุ้น (inactivated polymer chain) และทำให้โมเลกุลนั้นๆ กลายเป็นอนุมูลอิสระใหม่ที่เจริญต่อไปได้ โดยที่ตำแหน่งของอนุมูลอิสระเดิมจะกลายเป็นคาร์บอนพันธะคู่^[74] ดังแสดงในรูปที่ 9



15.4. การสิ้นสุดโซ่

แม้ว่าการสิ้นสุดของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จะสามารถเกิดขึ้นได้โดยการโอนถ่ายโซ่ แต่ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบเดิมมักสิ้นสุดด้วยการต่อกันระหว่างปลายของอนุมูลอิสระสองสาย^[74] ดังแสดงในรูปที่ 10



16. การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของอะคริลิก

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มักจะไม่นับรวมถึงจุดที่ไม่มีมอนอเมอร์เหลืออยู่สำหรับการทำปฏิกิริยาหรือเกิดเป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์มักถูกยับยั้งโดยความไม่บริสุทธิ์หรือการมีสิ่งปนเปื้อนผสมอยู่ในมอนอเมอร์ การยับยั้งนี้เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสิ่งปนเปื้อนกับอนุมูลอิสระทั้งที่อยู่ในรูปของสารริเริ่มปฏิกิริยา และสายโซ่ที่กำลังเจริญ^[74]

ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่มักผสมลงในมอนอเมอร์เพื่อยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ได้เองในสถานะที่ไม่มีสารริเริ่มปฏิกิริยา หรือสำหรับหน่วงปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ในสถานะที่มีสารริเริ่มปฏิกิริยาผสมอยู่ สารยับยั้งปฏิกิริยาจึงมีความเกี่ยวข้องกับเสถียรภาพในการเก็บรักษาและเวลาทำงานของวัสดุ^[74] ปริมาณสารยับยั้งปฏิกิริยาที่ผสมลงไปในสูตรจะต้องเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้

17. หลักการพื้นฐานของการบ่มด้วยแสง

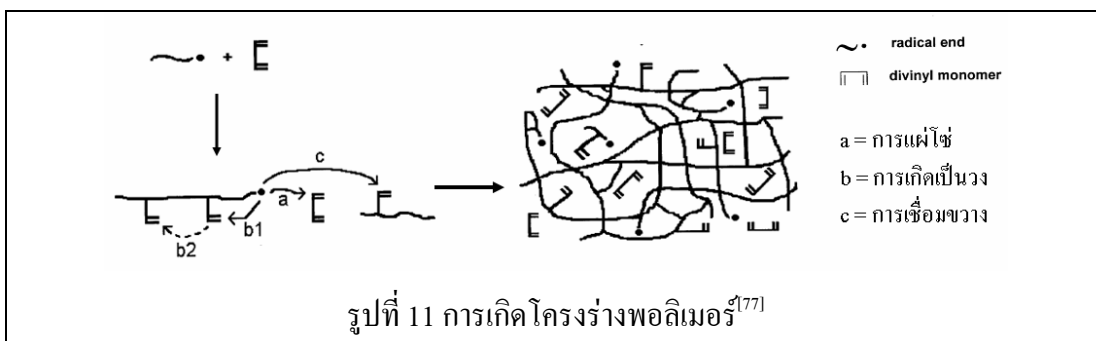
ในทางพันธุกรรมนิยมใช้วัสดุที่เกิดเป็นพอลิเมอร์โดยการกระตุ้นด้วยแสงมาตั้งแต่ ค.ศ.1960 เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีสมบัติที่ดีหลายประการ ตัวอย่างเช่น การหดตัวต่ำ การดูดน้ำต่ำ และการยึดติดที่ดี^[76] นอกจากนี้แล้วยังมีความเหมาะสมในการปฏิบัติงาน ตัวอย่างของวัสดุกลุ่มนี้คือ สารยึดติดผิวฟัน วัสดุบูรณะฟัน วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ซีเมนต์ และ สารเคลือบเรซินอะคริลิก โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่กระตุ้นด้วยแสงจะดำเนินไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่น้อยกว่าวินาทีจนถึงเป็นนาที และแสงที่นิยมใช้ คือ แสงอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากมีพลังงานสูงและมีประสิทธิภาพในการแตกพันธะเคมี อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลของความปลอดภัยในการใช้ ในทางพันธุกรรมจึงนิยมใช้การกระตุ้นด้วยคลื่นแสงช่วงมองเห็นมากกว่า แม้ว่าจะมีสมบัติที่ดีกว่าก็ตาม^[73]

วัสดุที่ใช้แสงในกระตุ้นให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ริเริ่มขึ้นมีส่วนประกอบหลักคือ ฟรีพอลิเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันสำหรับการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง มอนอเมอร์ และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันไปตามโครงสร้างทางเคมีของส่วนที่ไวปฏิกิริยา คือ มอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ และฟรีพอลิเมอร์ พอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงสูงเมื่อเลือกใช้อิโกลิโกเมอร์หรือฟรีพอลิเมอร์ที่มีโซ่หลักที่แข็งแรงและมีหมู่ฟังก์ชันสำหรับการเชื่อมขวางมาก^[73]

17.1. กลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระที่กระตุ้นด้วยแสง

การดำเนินของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระที่ใช้แสงในการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเริ่มขึ้นมีความแตกต่างจากการใช้ความร้อนเพียงวิธีการทำให้เกิดอนุมูลอิสระเท่านั้น แม้ว่าพอลิเมอร์ที่เป็นผลผลิตจากมอนอเมอร์หลายหมู่ฟังก์ชันจะมีความแข็งแรงและทนทานซึ่งเป็นผลจากการเชื่อมขวางที่แน่นหนา แต่กลับมีปัญหากลไกการแปลงผันของพันธะคู่ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ซึ่งเนื่องมาจากความหนืดของระบบที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงจำกัดการเคลื่อนไหวของอนุมูลอิสระ ทำให้มีอนุมูลอิสระบางตัวถูกกักขังอยู่ในเนื้อวัสดุ^[77]

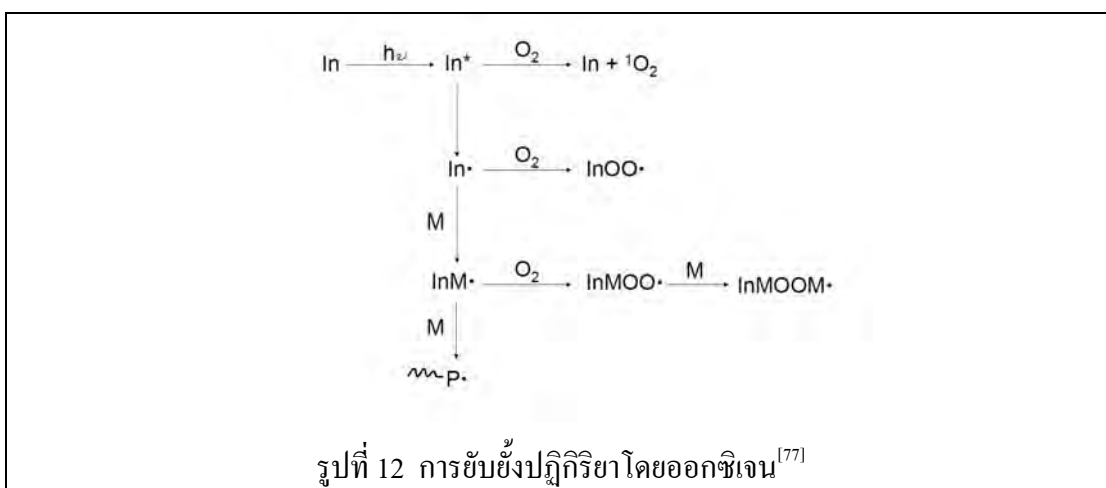
การเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์หลายหมู่ฟังก์ชันมีอยู่ 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 11 คือ การแผ่โซ่โดยการมีมอนอเมอร์เข้ามาเติมที่ส่วนปลายสาย การเกิดเป็นวงโดยการทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ที่อยู่ในสายเดียวกัน และการเชื่อมขวางโดยการทำปฏิกิริยากับสายโซ่อื่น พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจึงมีความไม่เป็นเอกพันธ์ในโครงสร้าง^[77] เพื่อลดโอกาสการเกิดเป็นวงและทำให้การเชื่อมขวางมีความหนาแน่นสูง จำเป็นต้องใช้มอนอเมอร์ที่มีโซ่หลักที่แข็งแรง^[78]



พอลิเมอร์ที่ถือกำเนิดจากไดเมทาคริเลตทุกชนิดมักมีความไม่อิ่มตัวตกค้างอยู่ภายในเนื้อ ประมาณร้อยละ 25-45 ซึ่งอาจอยู่ในรูป มอนอเมอร์ตกค้าง โซ่ข้าง (pendant side chains) หรือ เกิดเป็นวงพอลิเมอร์ โดยความไม่อิ่มตัวตกค้างนี้จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสารเสริมพลาสติกจึงมีผลต่อสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางมิติของวัสดุ การเพิ่มความรับอาบรังสีและเพิ่มเวลาการรับรังสีเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้วัสดุมีความแข็งแรงและทนทานยิ่งขึ้นซึ่งเป็นผลจากอัตราการแปลงผันที่เพิ่มสูงขึ้น แต่กลับมีข้อด้อยคือการหดตัวที่เพิ่มขึ้น^[75, 77] การทะลุผ่านของแสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุ บริเวณที่แสงผ่านเข้าไปไม่ถึงหรือผ่านเข้าไปได้น้อยการเกิดพอลิเมอร์ในบริเวณนั้นมักไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพของสี^[75]

17.2. ผลของออกซิเจน

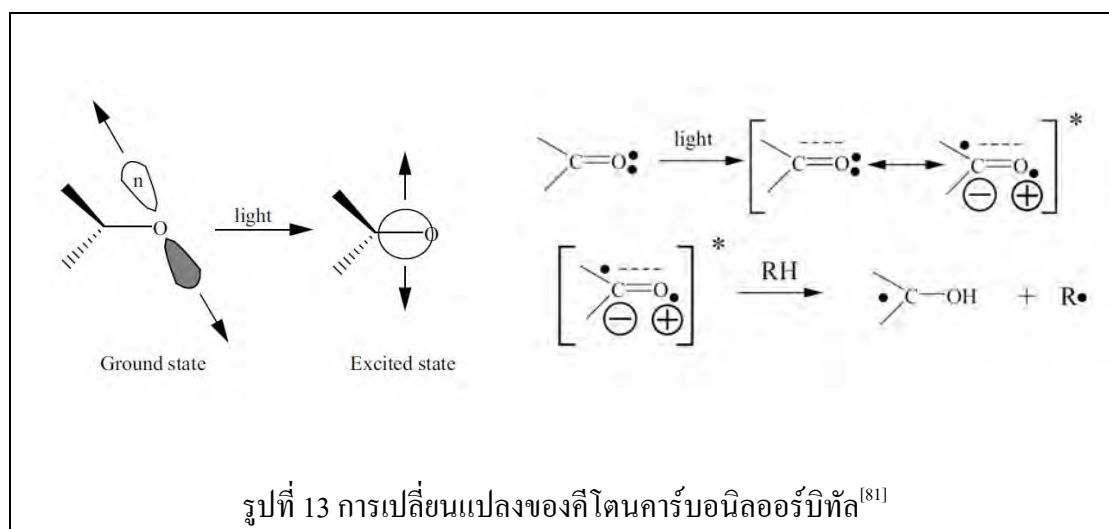
ออกซิเจนมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของอะคริเลต โดยมีผลยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ซึ่งมักจำกัดอยู่เฉพาะชั้นบางๆ ที่ผิวเท่านั้น เนื่องจากที่ผิวมีอนุมูลอิสระความเข้มข้นสูงช่วยกันออกซิเจนไม่ให้แพร่ผ่านลงไปใในเนื้อวัสดุ ออกซิเจนมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ 2 วิธี คือ ยับยั้งการเปลี่ยนสารริเริ่มปฏิกิริยาไปเป็นอนุมูลอิสระ และ จับกับอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซิ (peroxy radical)^[77] ดังแสดงในรูปที่ 12



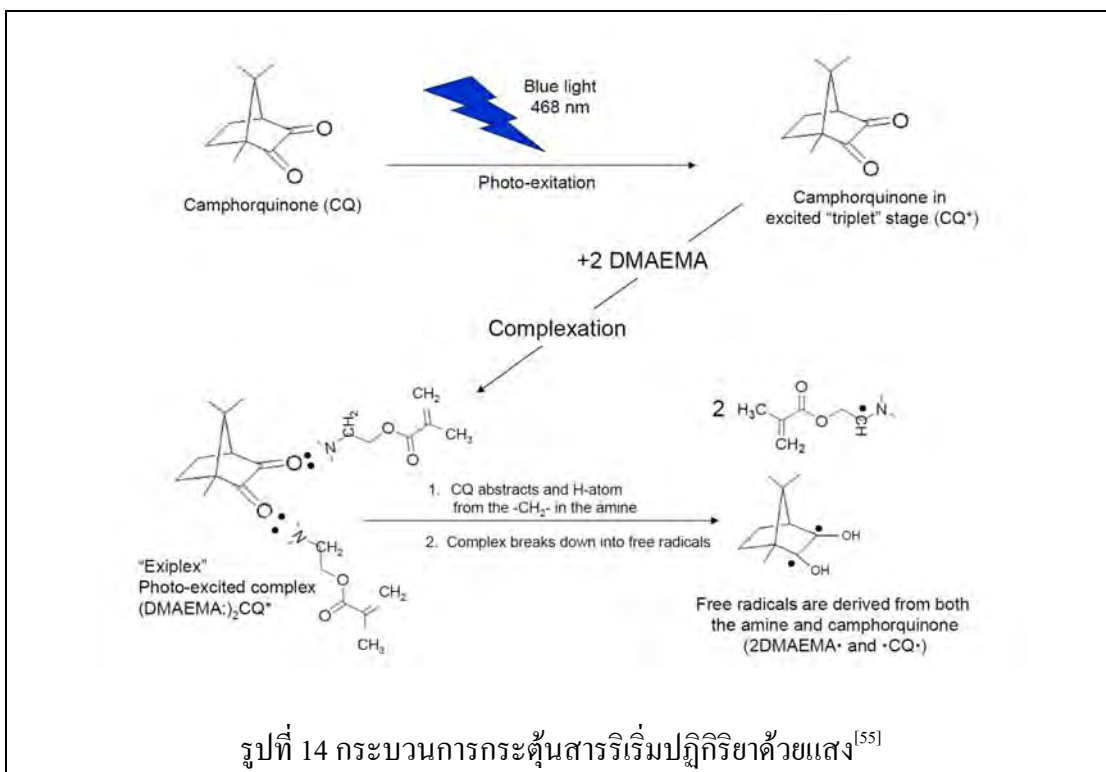
เพื่อลดผลการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยออกซิเจน สามารถทำได้โดย 1) การใช้ก๊าซเฉื่อยคลุมวัสดุไว้ขณะบ่ม 2) การใช้พาราฟินแว็กซ์เป็นตัวกั้นออกซิเจนไม่ให้สัมผัสกับสารเคลือบ 3) การใช้ตัวจับออกซิเจน ตัวอย่างเช่น แอมีน ฟอสฟีนส์ (phosphines) และ ไทออล (thiols) อย่างไรก็ตามหากการบ่มนั้นเกิดขึ้นเร็วกว่า 100 นาโนวินาที การใช้สารจับออกซิเจนไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญ^[79, 80]

18. สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง

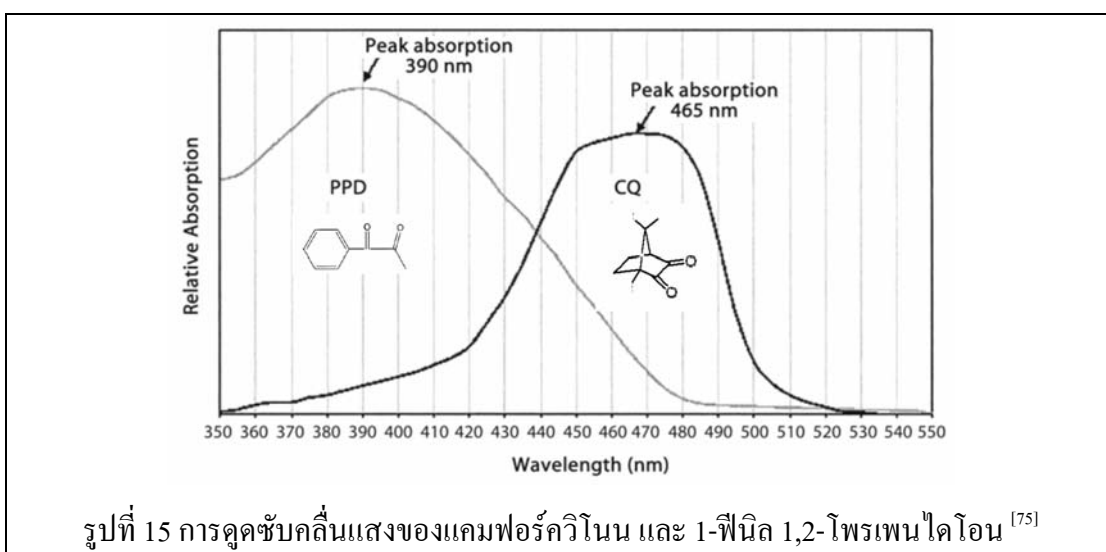
แอมโรมาติกคีโตนเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่กระตุ้นด้วยแสง เมื่อคีโตนได้รับพลังงานจากแสง อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone paired electron) ของอะตอมออกซิเจนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น π^* แทรนซิชัน ทำให้อยู่ในภาวะขาดแคลนอิเล็กตรอนและมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาค้ายกับอนุมูลอัลคอกซิลที่ชอบอิเล็กตรอน^[81] ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 14 เป็นตัวอย่างกระบวนการกระตุ้นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง แคมฟอร์ควิโนน และ ไดเมทิลอะซิโตนเอทิลเมทาคริเลต จะเห็นได้ว่า พลังงานจากคลื่นแสงมีผลให้หมู่ไดคาร์บอนิล (dicarbonyl group) ของแคมฟอร์ควิโนนมีการเปลี่ยนแปลง แล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับแอมีน ซึ่งในระหว่างนั้นจะมีการโอนถ่ายอะตอมไฮโดรเจนจากแอมีนไปยังหมู่คาร์บอนิลของแคมฟอร์ควิโนน เมื่อสารเชิงซ้อนสลายตัวจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระแอมีนและแคมฟอร์ควิโนน โดยอนุมูลอิสระแอมีนจะทำหน้าที่เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์^[55, 75, 82]



สารริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่กระตุ้นด้วยแสง หรือสารตั้งต้นอนุมูลอิสระที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในทางทันตกรรมคือ แอลฟา-1,2ไดคีโตน (α - 1,2 diketone) ตัวอย่างเช่น เบนซิล (benzyl) และ แคมฟอร์ควิโนน โดยใช้ร่วมกับ สารรีดิวซ์เอมีน (amine-reducing agent) ตัวอย่างเช่น ไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต และ ไดเมทิลพาราโทลูยดีน (dimethyl p-toluidine; DMPTI) โดยแคมฟอร์ควิโนนทำหน้าที่ในการดูดซับแสงสีฟ้า ช่วงคลื่น 400–500 นาโนเมตร^[55, 75] ดังแสดงในรูปที่ 15



คอมพอลิเมอร์ทางทันตกรรมมักใช้แคมฟอร์ควิโนนความเข้มข้นร้อยละ 0.17–1.03 โดยมวลเรซิน และไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 0.86–1.39 โดยมวลเรซิน อย่างไรก็ตามเนื่องจากแคมฟอร์ควิโนนมีสีเหลืองการใช้ในปริมาณมากอาจทำให้เกิดปัญหาในการเทียบสีให้คล้ายสีฟัน เมื่อใช้ได้ปริมาณที่จำกัดผลที่ตามมาคือไม่สามารถเตรียมวัสดุที่มีความลึกการก่อดำสูงได้ จึงมีการค้นคว้าหาสารริเริ่มปฏิกิริยาตัวอื่นมาใช้ โดยตัวที่สำคัญคือ 1-ฟีนิล 1,2-โพรเพนไดโอน (1-phenyl-1,2-propanedione; PPD)^[75, 83-86] เพื่อแก้ปัญหาสีเหลือง ซึ่งในปัจจุบันยังคงมีการศึกษาผลของสารริเริ่มปฏิกิริยาชนิดนี้ต่อสมบัติของวัสดุอยู่

การเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์มีการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตามความเข้มข้นของแคมฟอร์ควิโนน แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 6×10^{-2} โมล อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มลดลง^[82] โดย Kim พบว่าสำหรับ บิสซิเอ็มเอ/ไตรเอทิลีนกลัยคอลไดเมทาคริเลต การใช้เอมีนมากกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเรซินไม่ทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงผันเพิ่มขึ้น และเอมีนชนิดเอโรมาติกเป็นสารให้อิเลคตรอนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดแอลิฟาติก^[87]

19. แหล่งกำเนิดแสง

อนุภาคของแสง คือ โฟตอน (photon) ซึ่งเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปความถี่และความยาวคลื่น มีโมเมนตัม (momentum) มีความรับอาบรังสี (irradiance) มีการหมุน หรือ การเกิดขั้ว (polarization) และมีการเกี่ยวพันของโฟตอน ในทางทันตกรรม เครื่องฉายแสงชนิดป็นใช้โฟตอนจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ เช่น ควอท-ทังสเทน-ฮาโลเจน (quartz-tungsten-halogen; QTH) พลาสมาอาร์ค (plasma arc) เลเซอร์ (laser) และ ไลท์อิมิตติงไดโอด (light-emitting diode; LED) โดยเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ปลดปล่อยคลื่นออกมาในช่วงที่เฉพาะเจาะจง ไลท์อิมิตติงไดโอดปลดปล่อยคลื่นแสงเฉพาะช่วงสีฟ้า (440-480 นาโนเมตร) ขณะที่ ควอท-ทังสเทน-ฮาโลเจน และพลาสมาอาร์ค ต้องมีฟิลเตอร์สำหรับกรองคลื่นแสงที่ไม่ต้องการออกไป^[55, 75] เครื่องฉายแสงสำหรับงานในห้องปฏิบัติการมีลักษณะเป็นกล่องโดยมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) เป็นแหล่งกำเนิดแสง และภายในกล่องบรรจุด้วยแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อสะท้อนแสงให้กระจายอย่างทั่วถึง การเกิดเป็นพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องกำเนิดแสงสำหรับงานในห้องปฏิบัติการจึงต้องใช้เวลาเป็นนาที ขณะที่เครื่องกำเนิดแสงสำหรับในคลินิกใช้เวลาเป็นวินาที

20. สมบัติที่พึงประสงค์ของเรซินทางทันตกรรม

เรซินที่ใช้ในทางทันตกรรมควรมีสมบัติที่พึงประสงค์ คือ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ให้ความสวยงาม ราคาไม่สูง และมี

เสถียรภาพทางเคมีเมื่อใช้ในช่องปาก เพื่อบรรลุผลความเข้ากันได้ทางชีวภาพ เรซินควรมีไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง และไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อช่องปาก เพื่อบรรลุสมบัติทางกายภาพ เรซินควรมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน อาทิ เช่น แรงกัด แรงบดเคี้ยว แรงกระแทก และการขัดสี นอกจากนี้แล้ววัสดุควรมีเสถียรภาพทางมิติภายใต้สภาวะการใช้งาน เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความผันผวนของแรงกระทำ เพื่อบรรลุผลในด้านความสวยงาม วัสดุควรโปร่งแสงหรือโปร่งใสและเข้ากันได้ดีกับลักษณะที่ปรากฏของเนื้อเยื่อช่องปากที่ต้องทดแทน เพื่อบรรลุผลด้านเศรษฐศาสตร์ วัสดุและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องควรมีราคาไม่สูง และใช้ง่าย เพื่อบรรลุผลความทนทานในการใช้ภายในช่องปากที่แวดล้อมด้วยสารเคมีมากมาย ทั้งที่ร่างกายผลิตออกมาเพื่อหล่อเลี้ยงช่องปาก เป็นผลผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ รวมไปถึงน้ำและอาหาร วัสดุจึงควรมีเสถียรภาพทางเคมี^[55]

21. การพัฒนาสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

โดยหลักการแล้วประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุของฟลูออไรด์เป็นผลเฉพาะที่ การมีฟลูออไรด์ปริมาณต่ำๆ อยู่ล้อมรอบฟันตลอดเวลาเป็นสิ่งที่ช่วยป้องกันฟันจากการสูญเสียแร่ธาตุและช่วยส่งเสริมการกลับคืนแร่ธาตุสู่ฟันได้ การผสมฟลูออไรด์ลงในฐานฟันเทียมทั้งชิ้นอาจทำให้วัสดุมีสมบัติทางกายภาพที่ด้อยลงไปซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้งานโดยรวม การเคลือบผิวฟันเทียมเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับผิวฟันด้วยวัสดุที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์จึงเป็นการจัดการไปที่ต้นตอของปัญหา

สาเหตุที่เลือกใช้สารกลุ่มอะคริลิกเนื่องจาก ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานพลาสติกส่วนใหญ่ทำจากเรซินอะคริลิก สารกลุ่มอะคริลิกมีให้เลือกใช้ได้มากและแต่ละชนิดก็มีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันไป สามารถเลือกใช้การกระตุ้นให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เริ่มต้นทั้งด้วยแสงสารเคมี และความร้อน นอกจากนี้แล้วยังมีเครื่องมือและอุปกรณ์ทางทันตกรรมสำหรับใช้ในการบ่มอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องทำขึ้นมาใหม่

สารที่ใช้สำหรับการริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ คือ แคมฟอร์ควิโนน และ ไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในวัสดุทางทันตกรรมที่บ่มด้วยแสงอยู่แล้ว จึงมีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างแน่นอน

บทที่ 3

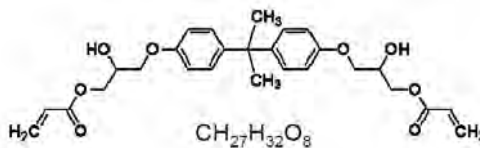
วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุสำหรับเตรียมสูตรสารเคลือบ

1.1. มอนอเมอร์ฐาน (base monomer)

1.1.1. Bisphenol A glycerolate (1 glycerol/phenol) diacrylate (Bis-GDA)

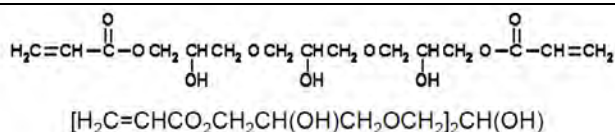
เป็นผลิตภัณฑ์ของ Aldrich หมายเลขการผลิต 07524AD มีสูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 16 น้ำหนักโมเลกุล 484.55 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสีจนถึงมีสีเหลืองจางๆ ความหนืด 9,000-20,000 พอยส์ (ที่ 25 องศาเซลเซียส) จุดวาบไฟสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.18 กรัม/มิลลิลิตร (ที่ 25 องศาเซลเซียส) ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน (monomethyl ether hydroquinone) 4,500 พีพีเอ็ม



รูปที่ 16 Bisphenol A glycerolate diacrylate

1.1.2. Glycerol 1,3-diglycerolate diacrylate (GDA)

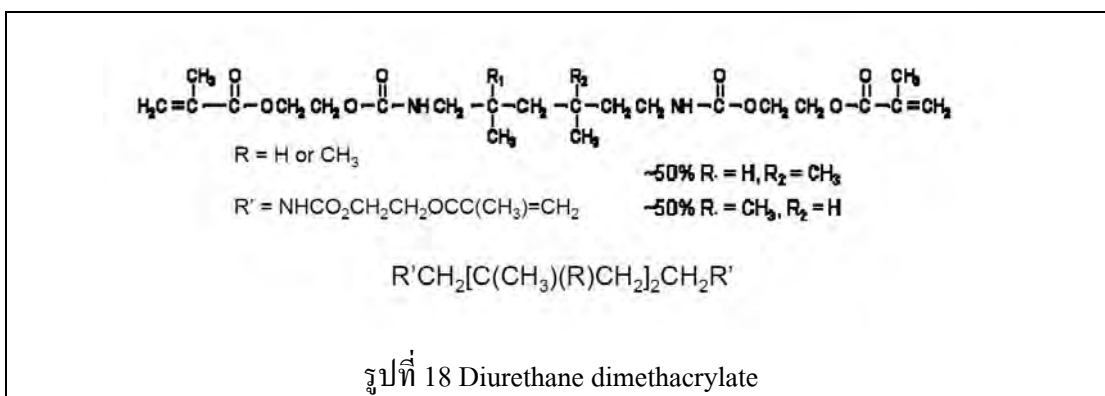
เป็นผลิตภัณฑ์ของ Aldrich หมายเลขการผลิต 10720CH ชั้นคุณภาพทางเทคนิค ชื่อพ้อง คือ Triglycerol diacrylate สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 17 น้ำหนักโมเลกุล 348.35 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ความหนืด 8,000-12,000 พอยส์ (ที่ 25 องศาเซลเซียส) จุดวาบไฟสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.237 กรัม/มิลลิลิตร (ที่ 25 องศาเซลเซียส) ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน 1,000 พีพีเอ็ม



รูปที่ 17 Glycerol 1,3-diglycerolate diacrylate

1.1.3. Diurethane dimethacrylate, mixture of isomer (DU-DMA)

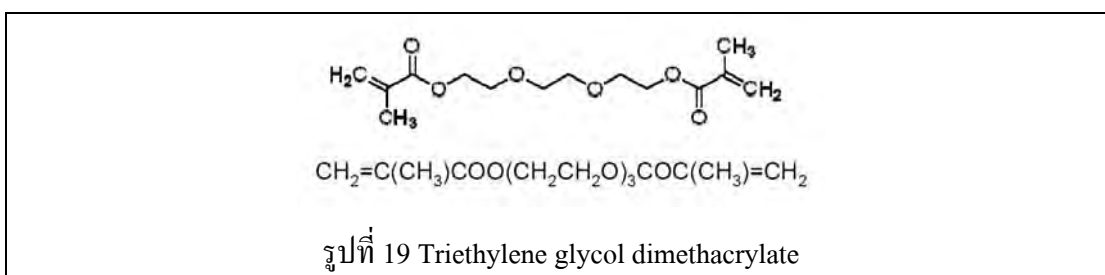
เป็นผลิตภัณฑ์ของ Aldrich หมายเลขการผลิต 01124BH สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 18 น้ำหนักโมเลกุล 470.56 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวใสหรือขุ่นเล็กน้อย ไม่มีสีจนถึงเหลือง จุดเดือด 200 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.11 กรัม/มิลลิลิตร (ที่ 25 องศาเซลเซียส) ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา โทพานอล (topanol) 225±25 พีพีเอ็ม



1.2. ตัวเจือจาง (diluent)

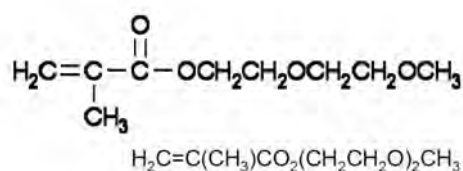
1.2.1. Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Fluka รุ่นและรหัสการบรรจุ 1257122 32607062 การหาปริมาณ (assay) มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 95.0 สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 19 น้ำหนักโมเลกุล 286.32 กรัม จุดเดือด 170-172 องศาเซลเซียส (ที่ 5 มิลลิเมตรปรอท) ความหนาแน่น 1.092 กรัม/มิลลิลิตร (ที่ 25 องศาเซลเซียส) ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน ประมาณร้อยละ 0.01



1.2.2. Di(ethylene glycol) methyl ether methacrylate (DEGME-MA)

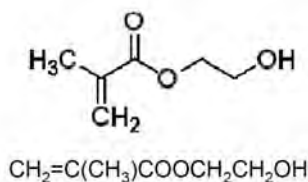
เป็นผลิตภัณฑ์ของ Aldrich หมายเลขการผลิต 14720CH การหาปริมาณร้อยละ 95 ชื่อพ้อง คือ 2-(2-Methoxyethoxy)ethyl methacrylate สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 20 น้ำหนักโมเลกุล 188.22 กรัม จุดเดือด 98 องศาเซลเซียส (ที่ 3.5 มิลลิเมตรปรอท) จุดวาบไฟสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.02 กรัม/มิลลิลิตร (ที่ 25 องศาเซลเซียส) ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน 100 พีพีเอ็ม และบิวทิลเลดเต็ดไฮดรอกซีโทลูอิน (butylated hydroxytoluene) 300 พีพีเอ็ม



รูปที่ 20 Di(ethylene glycol) methyl ether methacrylate

1.2.3. 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)

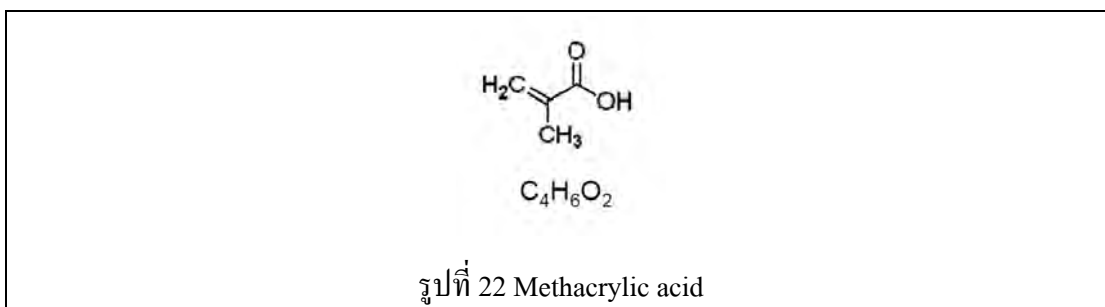
เป็นผลิตภัณฑ์ของ Aldrich รุ่น S41614-297 การหาปริมาณร้อยละ 97 ชื่อพ้อง คือ 1,2-Ethandiol mono(2-methylpropenoate) Glycol methacrylate สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 21 น้ำหนักโมเลกุล 130.14 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี จุดเดือด 67 องศาเซลเซียส ที่ 3.5 มิลลิเมตร ปรอท จุดวาบไฟ 97 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.073 กรัม/มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ผสมสารยับยั้งปฏิกิริยา มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน 200-220 พีพีเอ็ม



รูปที่ 21 2-Hydroxyethyl methacrylate

1.2.4. Methacrylic acid (MAA)

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Merck รุ่น S4881978 737 ใช้สำหรับการสังเคราะห์ การหาปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 99 ชื่อพ้อง คือ 2-Methylpropenoic acid สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 22 น้ำหนักโมเลกุล 86.09 กรัม จุดหลอมเหลว 15 องศาเซลเซียส จุดเดือด 161 องศาเซลเซียส (ที่ 1013 มิลลิบาร์) จุดวาบไฟ 70 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.93 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ค่าความเป็นกรดต่าง 2.0-2.2 (100 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส) สารช่วยให้คงตัว คือ มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน



1.3. ฟลูออไรด์

1.3.1. โซเดียมฟลูออไรด์

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Merck รุ่น B0088549 720 การหาปริมาณต่ำสุด ร้อยละ 99 สูตรโมเลกุล คือ NaF น้ำหนักโมเลกุล 41.99 กรัม ความหนาแน่น 2.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) การละลายน้ำ 42 กรัม/ลิตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรดต่างประมาณ 10.2 การละลายน้ำ 42 กรัม/ลิตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) จุดหลอมเหลว 993 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,704 องศาเซลเซียส

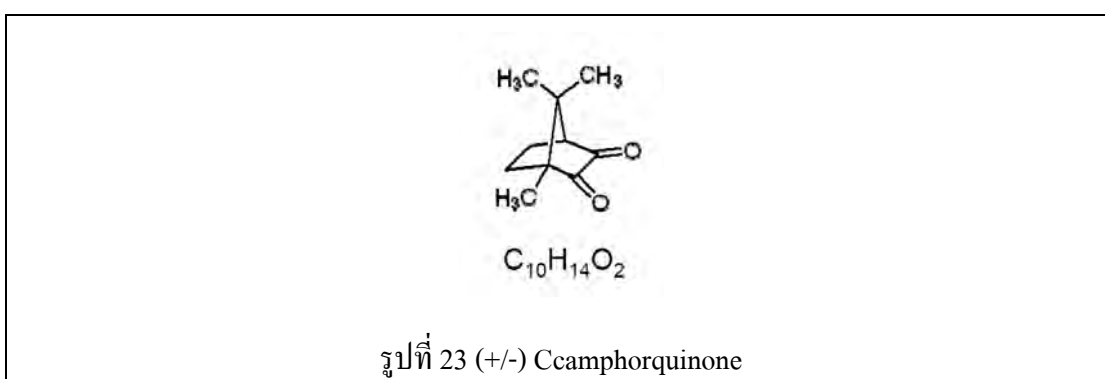
1.3.2. แคลเซียมฟลูออไรด์

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Merck รุ่น F1506140 742 การหาปริมาณมากกว่าร้อยละ 97 สูตรโมเลกุล คือ CaF₂ น้ำหนักโมเลกุล 78.08 กรัม ความหนาแน่น 3.18 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) การละลายน้ำ 0.016 กรัม/ลิตร (ที่ 18 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรดต่างประมาณ 4 (100 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) จุดหลอมเหลว 1,418 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,513 องศาเซลเซียส

1.4. สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง

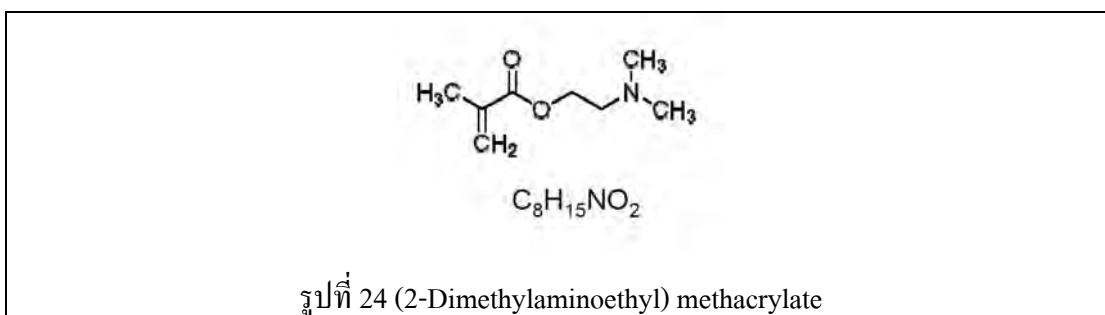
1.4.1. (+/-) Camphorquinone (CQ)

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Fluka รุ่นและรหัสการผลิต 123239 52506022 การหาปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 97.0 ชื่อพ้อง คือ 2,3-Bornanedione เป็นผงสีเหลือง สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 23 น้ำหนักโมเลกุล 166.22 กรัม จุดหลอมเหลว 197-203 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเก็บรักษา 2-8 องศาเซลเซียส



1.4.2. (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (DMAEMA)

เป็นผลิตภัณฑ์ของ Merk รุ่น S4697583 644 ใช้สำหรับการสังเคราะห์ การหาปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99 ชื่อพ้อง คือ 2-Propenoic acid-2-methyl-(2-dimethylamino) ether ester สูตรโครงสร้างและสูตรโมเลกุลตามรูปที่ 24 น้ำหนักโมเลกุล 157.22 กรัม จุดเดือด 182-192 องศาเซลเซียส (ที่ 1013 มิลลิบาร์) จุดวาบไฟ 70 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.93 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) สารช่วยให้คงตัว คือ มอนอเมทิลเอทิลอีเทอร์ไฮโดรควิโนน



1.5. เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับทำฐานฟันเทียม

เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Ivoclar vivadent AG ชื่อทางการค้า คือ Triplex[®] Hot ประกอบด้วยผงพอลิเมทิลเมทาคริเลต (รุ่น F66094) และ มอนอเมอร์เมทาคริเลต (รุ่น F67664) สัดส่วนผสม ผง 23.4 กรัม ต่อ มอนอเมอร์ 10 มิลลิลิตร เวลาปั้นได้ (dough time) 10 นาที เวลาทำงาน 20 นาที (ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส) วิธีการมาตรฐานสำหรับการบ่ม คือ นำภาชนะหล่อแบบ (mask) ที่มีวัสดุอยู่ด้านในใส่ลงไปใต้น้ำเย็นแล้วให้ความร้อนจนถึง 100 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เดือดนาน 45 นาที

1.6. สารสนับสนุนการเสริมฐาน (rebase aid)

เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Tokuyama Dental Corp รุ่น 2034 โดยอยู่ในชุดผลิตภัณฑ์เสริมฐานฟันเทียม (Tokuso Rebase) วิธีการใช้ คือ ให้ทาบบนผิวฐานฟันเทียม เมื่อแห้งแล้วจึงนำวัสดุเสริมฐานใส่ทับลงไป

2. เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

2.1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BP 110 S; Sartorius mechatronics, Germany) ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 110 กรัม $d=0.1$ มิลลิกรัม) ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง

2.2. เครื่องมือทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค

เครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค (Micro-hardness Tester รุ่น FM-700e TYPE D; FUTURE-TECH, Japan) ตามรูปที่ 25 ใช้สำหรับทดสอบความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่าง เลือกใช้แรงกดได้สูงถึง 1,000 กรัม กำหนดระยะเวลากดได้ มีหัวกดให้เลือกใช้ คือ หัวรูป (knoop) และหัววิกเกอร์ (vicker) สามารถดูภาพรอยกดได้ โดยเครื่องจะคำนวณค่าความแข็งผิวจากเส้นทะแยงมุมของรอยกด และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข



รูปที่ 25 เครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาค

2.3. เครื่องมือวัดปริมาณฟลูออไรด์

ฟลูออไรด์อิเล็กโทรด (Fluoride comb ISE/BNC; Sentek Limited, UK) ที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์ไอออน (pH/ion meter Model SL518; Select system, England) ตามรูปที่ 26 ใช้สำหรับวัดปริมาณไอออนฟลูออไรด์ในน้ำ โดยวัดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง ผลึกแลนทานัมฟลูออไรด์ (lanthanum fluoride) บนผิวของอิเล็กโทรดกับสารละลายที่ต้องการวัด เครื่องจะเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับเส้นโค้งมาตรฐาน (standard curve) ที่สร้างจากสารละลายฟลูออไรด์มาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 26 เครื่องวัดปริมาณฟลูออไรด์

2.4. เครื่องมือทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength)

เครื่องทดสอบสากล (LLOYD LR 10K; LLOYD Instrument Ltd, England) ตามรูปที่ 27 ใช้สำหรับทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติดโดยสารเคลือบ สามารถเลือกใช้โหลดเซลล์ได้ สูงสุด 10 กิโลนิวตัน กำหนดความเร็วการเคลื่อนของหัวจับได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 5000 มิลลิเมตร/นาที และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทดสอบและรายงานผล



รูปที่ 27 เครื่องทดสอบสากลลloyd

2.5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL รุ่น JSM-5410LV; JEOL Ltd, Japan) ตามรูปที่ 28 ใช้สำหรับดูลักษณะพื้นผิวของวัสดุเพื่อสนับสนุนผลการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบ กำลังขยายอยู่ในช่วง 35-200,000 เท่า ภาพที่ได้จึงมีความชัดลึก และมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะสูง



รูปที่ 28 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. วิธีการทดสอบ

3.1. การเตรียมสารเคลือบ

สารเคลือบมีส่วนประกอบคือ เรซินฐานซึ่งประกอบด้วย มอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจาง สารริเริ่มปฏิกิริยาดำยแสง และฟลูออไรด์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4 การเตรียมสูตรเริ่มจากการผสมมอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจางให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน จากนั้นจึงผสมฟลูออไรด์ แล้วตามด้วยสารริเริ่มปฏิกิริยาดำยแสงคือ แคมฟอร์ควิโนน (ความเข้มข้นร้อยละ 15 ในเมทานอล) และ ไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต สัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักเรซิน

ตารางที่ 4 รายละเอียดส่วนประกอบของสารเคลือบผิว

ส่วนประกอบ	สาร	ผู้ผลิต
มอนอเมอร์ฐาน	1. Bisphenol A glycerolate diacrylate (Bis-GDA)	Aldrich
	2. Glycerol 1,3-diglycerolate diacrylate (GDA)	Aldrich
	3. Diurethane dimethacrylate (DU-DMA)	Aldrich
ตัวเจือจาง	1. Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)	Fluka
	2. Di(ethylene glycol) methyl ether methacrylate (DEGME-MA)	Aldrich
	3. 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)	Aldrich
	4. Methacrylic acid (MAA)	Merck
สารริเริ่มปฏิกิริยา	1. (+/-)camphorquinone (CQ)	Fluka
	2. (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (DMAEMA)	Merck
ฟลูออไรด์	1. Sodium fluoride	Merck
	2. Calcium fluoride	Merck

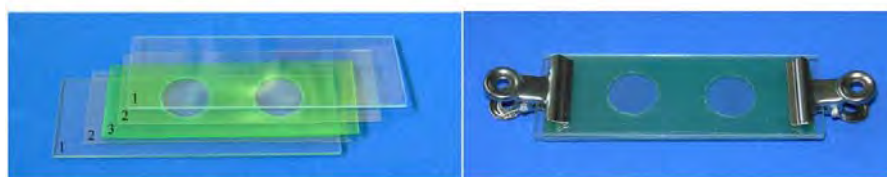
3.2. การเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญ

เตรียมชิ้นตัวอย่างสารเคลือบผิวให้เป็นรูปเหรียญเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตรหนา 0.5 มิลลิเมตร ใช้วิธีการที่กล่าวไว้ในมาตรฐาน ISO 1567^[88] (ทันตกรรม-พอลิเมอร์สำหรับฐานฟันเทียม) ISO 10477^[89] (ทันตกรรม-วัสดุพอลิเมอร์สำหรับงานครอบและสะพานฟัน) และ ISO 4049^[90] (ทันตกรรม-วัสดุอุดบูรณะและฉาบผิวชนิดพอลิเมอร์) โดยมีวัสดุอุปกรณ์และวิธีการดังนี้

1. แบบสำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่างมีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 29

- 1.1. แผ่นพลาสติกพอลิพรอพิลีน หนา 0.5 มิลลิเมตร ที่เจาะรูเป็นรูวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร สำหรับเป็นแบบ

- 1.2. แผ่นกระจก สำหรับเป็นผนังด้านบนและล่างของแบบ
- 1.3. แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนสำหรับคลุมผิวกระจกด้านที่สัมผัสกับสารเคลือบ
- 1.4. คลิปโลหะสำหรับยึดส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน
2. การทำขึ้นตัวอย่าง
 - 2.1. นำแบบที่ทำจากแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนมาวางลงบนกระจก
 - 2.2. ยึดแบบกับแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนด้วยกาวสองหน้าชนิดบาง
 - 2.3. บรรจุสารเคลือบลงไปแบบโดยให้ล้นออกมาเล็กน้อย
 - 2.4. ปิดทับหน้าด้วยแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนตามด้วยแผ่นกระจก
 - 2.5. ใช้คลิปจับยึดส่วนประกอบทั้งหมดไว้ด้วยกัน
 - 2.6. นำเข้าตู้อบด้วยแสง (POLYLUX-PT; Dreve-Dentamid GmbH, Germany) ดังแสดงในรูปที่ 29 โดยให้แต่ละด้านสัมผัสกับแสงนาน 5 นาที
 - 2.7. แกะชิ้นตัวอย่างออกจากแบบ แล้วกำจัดครีบทวีตส่วนเกินโดยการฝนด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000
 - 2.8. ทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างโดยใช้น้ำปราศจากไอออนร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิค



1=Glass slap 2=polyester film 3=polypropylene sheet



รูปที่ 29 แม่แบบสำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญ และ ตู้บ่มด้วยแสง

3. การทำขึ้นตัวอย่างเรซินอะคริลิก

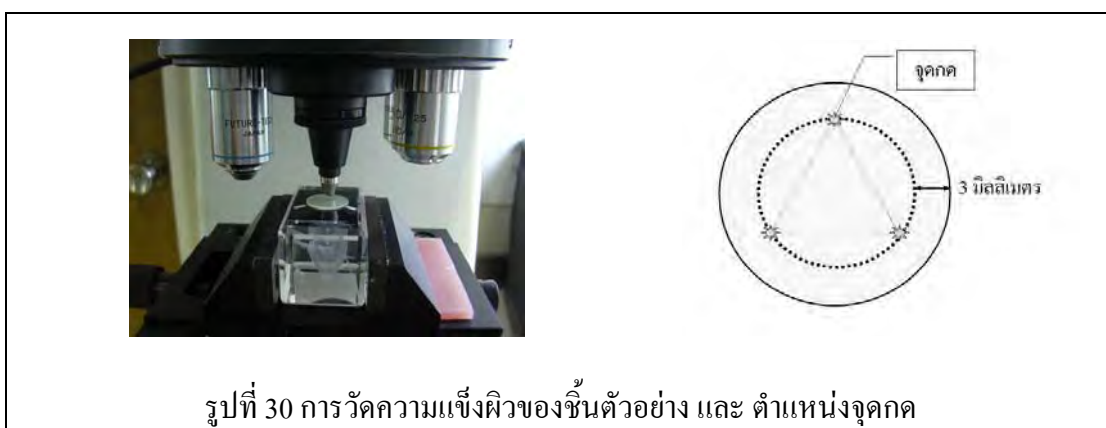
การเตรียมขึ้นตัวอย่างรูปเหรียญของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน ใช้แบบเช่นเดียวกันกับที่ใช้ทำขึ้นตัวอย่างสารเคลือบ เพียงแต่เปลี่ยนจากแผ่นกระจกเป็นแผ่นโลหะผิวหน้าเรียบ เพื่อให้ทนทานต่อแรงอัดแบบ โดยมีวิธีการดังนี้^[55]

- 3.1. ผสมวัสดุตามสัดส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้
- 3.2. เมื่อวัสดุอยู่ในระยะปั่นได้จึงใส่ลงในแบบ แล้วปิดทับด้วยแผ่นโลหะ
- 3.3. นำเข้าเครื่องอัดแล้วยึดส่วนประกอบทั้งหมดให้แน่น
- 3.4. นำไปบ่มโดยการต้มในน้ำอุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตามด้วยน้ำเดือด 1 ชั่วโมง เมื่อเย็นแล้วจึงแกะออกจากแบบ

3.3. การศึกษาความแข็งผิว

การศึกษาความแข็งผิวใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM E 384-05a^[91] โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคและห้วงคนูป กำหนดจุดกดให้อยู่ห่างจากขอบประมาณ 3 มิลลิเมตร กดตัวอย่างละ 3 จุด ในตำแหน่งที่อยู่ห่างกันเท่าๆ กันดังแสดงในรูปที่ 30 จำนวนค่าเฉลี่ยสำหรับเป็นตัวแทนความแข็งผิวของตัวอย่างขึ้นนั้นๆ วิธีการมีดังนี้

1. ตั้งค่าการทดสอบของเครื่องวัดความแข็งผิว คือ กดด้วยแรง 50 กรัม นาน 15 วินาที
2. ตั้งค่าระยะศูนย์ของการวัด
3. นำขึ้นตัวอย่างวางลงบนฐาน
4. ปรับกล้องจุลทรรศน์จนกระทั่งสามารถมองเห็นภาพพื้นผิววัสดุได้ชัดเจน
5. เลื่อนหัวกดให้มาอยู่ในตำแหน่งทดสอบ
6. ออกคำสั่งเครื่องให้ทำการกด รอจนกระทั่งแล้วเสร็จจึงเลื่อนเลนส์กลับมาเพื่อดูภาพรอยกด
7. วัดระยะเส้นทะแยงมุมของรอยกด
8. กดปุ่มเพื่อให้เครื่องคำนวณและแสดงผลค่าความแข็งผิว



3.4. การศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์

การศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ ใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 1179-04^[92] โดยใช้ไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรดสำหรับฟลูออไรด์ ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์ไอออน วิธีการมีดังนี้

1. นำแช่ชิ้นตัวอย่าง

- 1.1. นำชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญมาล้างน้ำแล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู
- 1.2. แช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร นาน 1 สัปดาห์
- 1.3. นำน้ำแช่ชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาวัดปริมาณฟลูออไรด์
- 1.4. ใส่ น้ำปราศจากไอออนใหม่กลับลงไปแทนที่
- 1.5. ทำตามข้อ 1.2-1.4 ซ้ำเรื่อยๆ จนครบ 4 สัปดาห์

หมายเหตุ: เพื่อให้การปลดปล่อยฟลูออไรด์เกิดขึ้นในอุณหภูมิที่ใช้งานจริง จึงวางแผนเก็บชิ้นตัวอย่างที่แช่น้ำไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิร่างกาย แต่เนื่องจากการทดสอบเพื่อคัดเลือกสูตรครั้งแรกมีตัวอย่างจำนวนมาก ประกอบกับมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบให้แล้วเสร็จในคราวเดียวกัน จึงเก็บชิ้นตัวอย่างเฉพาะการทดสอบครั้งนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2. การเทียบมาตรฐาน (calibration)

- 2.1. เตรียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่างๆ จากฟลูออไรด์มาตรฐาน 100 พีพีเอ็ม (Orion ionplus[®] Application Solution; Thermo Scientific, USA) โดยการเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน

- 2.2. ผสมสารละลายฟลูออไรด์ที่เตรียมไว้กับ TISAB III (Total Ionic Strength Adjustment Buffer; TISAB III Concentrate with CDTA Orion 940911; Orion ionplus® Application Solution, Thermo Scientific, USA) ด้วยอัตราส่วน 10:1
- 2.1. วัดแรงดันไฟฟ้าของสารละลายฟลูออไรด์มาตรฐานที่เตรียมขึ้นเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบเพื่อให้แสดงผลการทดสอบเป็นความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์
3. การวัดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำแช่ขึ้นตัวอย่าง
 - 3.1. ผสมน้ำแช่ขึ้นตัวอย่างกับ TISAB III ด้วยสัดส่วน 10:1
 - 3.2. วัดปริมาณฟลูออไรด์ โดยนำอิเล็กโทรดลงแช่ในน้ำ รอกจนกระทั่งตัวเลขที่แสดงบนหน้าจอของเครื่องวิเคราะห์หนึ่ง จึงบันทึกค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์
 - 3.3. ทำความสะอาดปลายอิเล็กโทรดโดยใช้น้ำปราศจากไอออนแล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู

3.5. การศึกษาการควบแน่นและการละลายน้ำ

การศึกษสมบัติการควบแน่นและละลายน้ำของสารเคลือบใช้วิธีการตามมาตรฐาน ISO 1567^[88] (ทันตกรรม-พอลิเมอร์สำหรับฐานฟันเทียม) ISO 10477^[89] (ทันตกรรม-วัสดุพอลิเมอร์สำหรับงานครอบและสะพานฟัน) และ ISO 4049^[90] (ทันตกรรม-วัสดุอุดบูรณะและฉาบผิว ชนิดพอลิเมอร์) การคำนวณน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงใช้การเทียบกับน้ำหนักแห้งเริ่มต้นแทนการเทียบกับปริมาตรของขึ้นตัวอย่างแห้งเริ่มต้น วิธีการมีดังนี้

1. ทำความสะอาดขึ้นตัวอย่างโดยใช้น้ำปราศจากไอออนร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิก แล้วนำมาจัดเรียงบนฐานวาง ตามรูปที่ 31



รูปที่ 31 ขึ้นตัวอย่างรูปเหรียญ และ ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

2. การหาน้ำหนักแห้ง (Dry 1)
 - 2.1. เตรียมภาชนะทำแห้ง (desicators) จำนวน 2 ชุด โดยใช้กล่องพลาสติกที่อากาศรั่วเข้าไม่ได้ บรรจุซิลิกาเจลที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง
 - 2.2. นำชิ้นตัวอย่างมาจัดเรียงไว้ในภาชนะทำแห้งกล่องที่ 1
 - 2.3. นำไปเก็บในตู้อบ ที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส 22 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 31
 - 2.4. ย้ายชิ้นตัวอย่างมายังภาชนะทำแห้งกล่องที่ 2 วางไว้ในที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 2 องศาเซลเซียส) นาน 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก
 - 2.5. ทำซ้ำตามข้อ 2.1-2.4 จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไม่เกิน 0.0001 กรัม จึงบันทึกค่าดังกล่าวให้เป็นน้ำหนักแห้งเริ่มต้น
3. การหาน้ำหนักเปียก (Wet)
 - 3.1. นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำปราศจากไอออนนาน 4 สัปดาห์ มาชั่งน้ำหนัก โดยต้องทำให้แล้วเสร็จภายใน 1 นาที ด้วยวิธีการดังนี้
 - 3.1.1. นำชิ้นตัวอย่างขึ้นมาจากน้ำ
 - 3.1.2. ซับชิ้นตัวอย่างเบาๆ บนกระดาษทิชชูจนกระทั่งมองไม่เห็นน้ำบนผิว
 - 3.1.3. ใช้ปากคีบพลาสติกจับชิ้นตัวอย่างแล้วโบกในอากาศเป็นเวลา 15 วินาที
 - 3.1.4. ชั่งน้ำหนัก และบันทึกเป็นน้ำหนักเปียก
4. การหาน้ำหนักแห้ง (Dry 2)
 - 4.1. นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง ตามวิธีการในข้อ 2
 - 4.2. บันทึกน้ำหนักแห้งภายหลังการแช่น้ำ
5. การคำนวณ
 - 5.1. ร้อยละการดูดน้ำ = $(\text{Wet} - \text{Dry 1}) / \text{Dry 1} \times 100$
 - 5.2. ร้อยละการละลายน้ำ = $(\text{Dry 1} - \text{Dry 2}) / \text{Dry 1} \times 100$
- 3.6. การทดสอบการประจุฟลูออไรด์

การทดสอบการประจุฟลูออไรด์ใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่ำกว่า 0.10 พีพีเอ็ม โดยมีวิธีการดังนี้

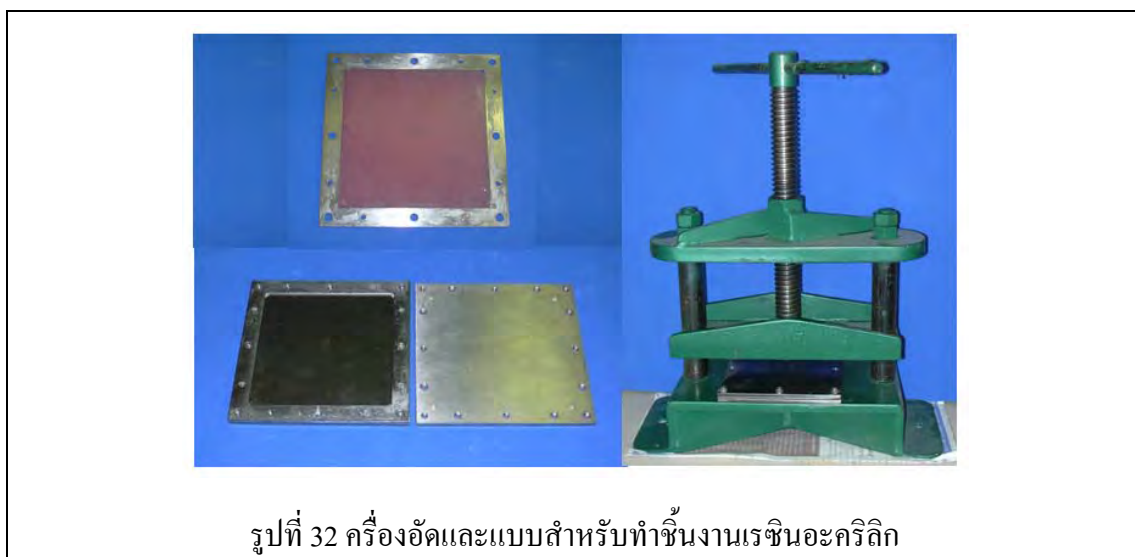
1. เตรียมสารละลายฟลูออไรด์สำหรับการประจุ
 - 1.1. ผสมโซเดียมฟลูออไรด์กับน้ำปราศจากไอออนให้มีความเข้มข้นดังนี้
 - 1.1.1. ความเข้มข้นร้อยละ 0.22 กรัม มีไอออนฟลูออไรด์ ประมาณ 1,000 พีพีเอ็ม
 - 1.1.2. ความเข้มข้นร้อยละ 2.2 กรัม มีไอออนฟลูออไรด์ ประมาณ 10,000 พีพีเอ็ม
 - 1.1.3. ความเข้มข้นร้อยละ 4.2 กรัม มีไอออนฟลูออไรด์ ประมาณ 19,091 พีพีเอ็ม
2. นำชิ้นตัวอย่างลงแช่ในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดไว้ จึงล้างในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง
3. ซับชิ้นตัวอย่างให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วจึงนำลงแช่ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร
4. เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำน้ำแช่ชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาวัดปริมาณฟลูออไรด์

3.7. การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบกับเรซินอะคริลิก

ทดสอบสมบัติการยึดติดของสารเคลือบผิวกับเรซินอะคริลิกโดยการหาความต้านแรงดึงของการยึดติด ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 2095-96^[93] ซึ่งได้ปรับลดขนาดชิ้นงานเรซินอะคริลิกที่เป็นฐานสำหรับการยึดติดให้เล็กลง เพื่อให้แสงสามารถผ่านทะลุสารเคลือบได้โดยตลอด การยึดชิ้นทดสอบกับเครื่องทดสอบสากลใช้แขนจับชิ้นตัวอย่างชนิดพันจับ (grip) ร่วมกับชนิดแขวน วิธีการมีดังนี้

1. เตรียมแผ่นเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนเพื่อเป็นฐานสำหรับการยึดติด
 - 1.1. ผสมเรซินอะคริลิกด้วยสัดส่วนผง 40 กรัม ต่อน้ำ 40 มิลลิลิตร
 - 1.2. เมื่อวัสดุอยู่ในระยะปั่นได้จึงบรรจุลงในแม่แบบโลหะไร้สนิม ดังแสดงในรูปที่ 32
 - 1.3. ปิดทับผิวหน้าวัสดุด้วยฟิล์มเซโลเฟนเปียกน้ำ
 - 1.4. ปิดฝาแม่แบบแล้วนำเข้าเครื่องอัด ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที จึงนำออกมา
 - 1.5. เปิดฝาแม่แบบออกเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของวัสดุ
 - 1.5.1. ตัดเรซินอะคริลิกส่วนเกินที่ล้นออกมาจากขอบและเติมส่วนที่ขาด
 - 1.5.2. ปิดทับผิวหน้าวัสดุด้วยฟิล์มเซโลเฟนเปียกน้ำ

- 1.5.3. ปิดฝาแม่แบบแล้วนำเข้าเครื่องอัด ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที จึงนำออกมา
- 1.6. ทำซ้ำตามข้อ 1.5 จนกระทั่งเรซินอะคริลิกส่วนเกินหมดไป และเนื้อวัสดุแน่น จึงเอาเซโลเฟนออก ปิดฝาแม่แบบ นำเข้าเครื่องอัด และยึดด้วยสกรูให้แน่น
- 1.7. นำไปบ่มในหม้อน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ตั้งโปรแกรมการบ่มแบบต้มบ่มเร็ว โดยให้ความร้อน 2 ระดับ คือ 74 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามด้วย 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
- 1.8. เมื่อแบบเย็นตัวลงแล้วจึงแกะแบบ และนำแผ่นเรซินอะคริลิกที่อยู่ข้างในออกมา



2. การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบการยึดติด
 - 2.1. เตรียมชิ้นงานเรซินอะคริลิกเพื่อการยึดติด
 - 2.1.1. ตัดแผ่นเรซินอะคริลิกให้มีขนาด 50X10X2 มิลลิเมตร จัดเรียงด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 600 โดยที่ผิวสำหรับเชื่อมต่อให้ขัดถึงเบอร์ 1,000
 - 2.1.2. ทำความสะอาดชิ้นงานเรซินอะคริลิกโดยใช้น้ำปราศจากไอออนร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิก นาน 20 นาที จำนวน 2 ครั้ง
 - 2.1.3. ซับน้ำให้แห้งแล้วนำไปเก็บในกล่องบรรจุซิลิกาเจลที่ปิดสนิท
 - 2.2. การยึดชิ้นงานเรซินอะคริลิกโดยใช้สารเคลือบ
 - 2.2.1. เตรียมฐานวางชิ้นตัวอย่างโดยใช้แผ่นพลาสติกที่คลุมผิวหน้าด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีน

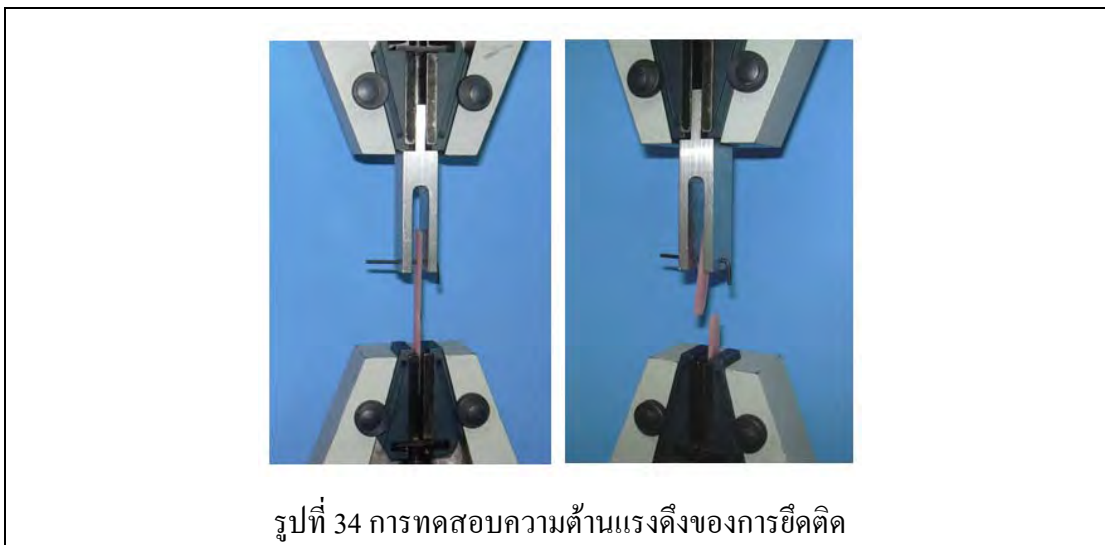
- 2.2.2. กลุ่มทดลองให้ปรับสภาพผิวด้านยึดติดโดยจุ่มในสารสนับสนุนการเสริมฐาน (Rebase aid: Tokuyama Dental Corp) 10 วินาที เมื่อแห้งแล้วจึงนำมายึดติด
- 2.2.3. กลุ่มควบคุมให้นำมายึดติดกันได้เลย
- 2.2.4. ทาสารเคลือบลงบนผิวด้านยึดติดของชิ้นงานเรซินอะคริลิก
- 2.2.5. นำชิ้นงานเรซินอะคริลิกมาวางต่อกันแบบปลายชนปลายตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ แล้วนำเข้าตู้บ่มด้วยแสง โดยบ่มด้านละ 5 นาที
- 2.2.6. นำชิ้นงานมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเพื่อกำจัดสารเคลือบส่วนเกิน
- 2.2.7. เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร บนแผ่นเรซินอะคริลิก สำหรับร้อยลวด แล้วแช่ชิ้นงานไว้ในน้ำระหว่างรอการทดสอบ

หมายเหตุ: ชิ้นตัวอย่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 33 เนื่องจาก เมื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างกลุ่มทดลองให้มีลักษณะเหมือนกับกลุ่มควบคุม พบว่าความต้านแรงดึงมีค่าสูงมากจนกระทั่งทำให้การแตกหักเกิดขึ้นที่บริเวณรูสำหรับร้อยลวด จึงมีความจำเป็นต้องกรอบริเวณรอยเชื่อมให้เล็กลงเหลือ 7 มิลลิเมตร การขาดจากกันจึงเกิดที่รอยเชื่อมได้ แต่วิธีการนี้ไม่สามารถทำในกลุ่มควบคุมได้ เพราะชิ้นงานจะหลุดออกจากกันในระหว่างการเตรียม เนื่องจากมีความต้านแรงดึงของการยึดติดต่ำ



2.3. ทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติด

- 2.3.1. นำชิ้นงานมายึดกับเครื่องทดสอบสากลลอยด์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแกนจับ 30 มิลลิเมตร
- 2.3.2. ออกคำสั่งให้เครื่องทดสอบเคลื่อนหัวจับด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก ดังแสดงในรูปที่ 34
- 2.3.3. บันทึกความเค้นที่แรงดึงสูงสุด



รูปที่ 34 การทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติด

3.8. การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำวัตถุที่ต้องการดูภาพมายึดเข้ากับแป้นทองเหลืองโดยใช้กาวคาร์บอนสองหน้า นำไปเคลือบด้วยทอง ได้ชิ้นงานดังรูปที่ 35 แล้วจึงนำไปดูภาพพื้นผิวที่กำลังขยายต่างๆ



รูปที่ 35 ตัวอย่างสำหรับดูภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และ การเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อหาความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ในกรณีที่พบว่าข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติจะใช้การทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (nonparametric test) ครัสคัลวาฬิสเฮซ (Kruskal-Wallis H) และแมนวิทนียู (Mann-Whitney U) โดยกำหนดให้ $\alpha=0.05$

บทที่ 4

รายงานผล การวิเคราะห์ และอภิปรายผลการวิจัย

1. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 1

การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 1 เป็นการทดสอบเพื่อคัดเลือกส่วนประกอบของเรซินฐาน ที่เตรียมจากมอนอเมอร์ฐาน 3 ชนิด และตัวเจือจาง 4 ชนิด และเพื่อคัดเลือกสารประกอบฟลูออไรด์ที่เมื่อผสมกับเรซินฐานแล้วให้วัสดุที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในปริมาณที่เพียงพอต่อการป้องกันฟันผุ และวัสดุไม่เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ในการนี้จึงได้เตรียมเรซินฐานจำนวน 12 สูตร ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจางอย่างละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยใช้สัดส่วน 1:1 โดยโมล และมีสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง คือ แคมฟอร์ควิโนน และไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต ที่ผสมด้วยสัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักเรซิน เมื่อส่วนประกอบทั้งหมดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงแบ่งเรซินฐานแต่ละสูตรออกเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ 1) กลุ่มควบคุมที่ไม่ผสมฟลูออไรด์ 2) กลุ่มผสมโซเดียมฟลูออไรด์ และ 3) กลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้ได้สารเคลือบทั้งหมด 36 สูตร แต่เนื่องจากสารประกอบฟลูออไรด์ทั้งสองชนิดนี้มีไอออนฟลูออไรด์ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน จึงคำนวณน้ำหนักสารประกอบฟลูออไรด์ที่ผสมลงไป ในสูตร โดยอิงตามปริมาณไอออนฟลูออไรด์ เป็นสำคัญ ดังนั้นสำหรับเรซินฐาน 10 กรัม จึงใช้โซเดียมฟลูออไรด์ 0.5000 กรัม และใช้แคลเซียมฟลูออไรด์ 0.4649 กรัม

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 1

สูตร	รหัส	มอนอเมอร์ฐาน	ตัวเจือจาง
1	11	Bis-GDA	TEGDMA
2	12	Bis-GDA	DEGME-MA
3	13	Bis-GDA	HEMA
4	14	Bis-GDA	MAA
5	21	GDA	TEGDMA
6	22	GDA	DEGME-MA
7	23	GDA	HEMA
8	24	GDA	MAA
9	31	DU-DMA	TEGDMA
10	32	DU-DMA	DEGME-MA
11	33	DU-DMA	HEMA
12	34	DU-DMA	MAA

รหัสตัวแรก คือ มอนอเมอร์ฐาน รหัสตัวที่สอง คือ ตัวเจือจาง

ก่อนเตรียมชิ้นตัวอย่างได้ทดสอบการบ่มสารเคลือบโดยใช้ตู้บ่มด้วยแสง โดยนำเรซินฐานมาป้ายลงบนแผ่นกระจก นำเข้าตู้บ่ม 5 นาที แล้วทดสอบโดยใช้เข็มชูดที่ผิว จากนั้นจึงบ่มต่ออีก 5 นาที แล้วทดสอบโดยใช้เข็มชูดอีกครั้ง พบว่ารอยชูดขึ้นขึ้นดังแสดงในรูปที่ 36 โดยเมื่อบ่มนาน 5 นาที พบว่าเรซินที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น DU-DMA ทนทานต่อการชูดมากที่สุด รองลงมาคือ GDA และ Bis-GDA ตามลำดับ แต่เมื่อบ่มต่ออีก 5 นาที พบว่ารอยชูดบนเรซินที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น Bis-GDA และ GDA ขึ้นขึ้นอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้เวลาบ่ม 10 นาที สำหรับเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ

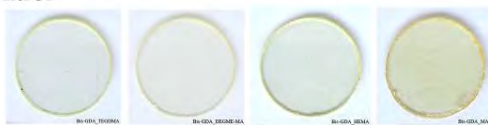


ในการคัดเลือกสูตรได้เตรียมชิ้นตัวอย่างรูปเหรียญตามวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 ของบทที่ 3 สำหรับทดสอบสมบัติ 4 ประการ คือ ความแข็งผิว การดูดน้ำ การละลายน้ำ และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ รวมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่างที่เป็นผลจากการแช่น้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากสามารถได้ข้อมูลการทดสอบทั้งหมดโดยใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกัน จึงเตรียมตัวอย่างเพียงสูตรละ 10 ชิ้น โดยแต่ละสูตรมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 37 กลุ่มควบคุมมีลักษณะใส โดยสูตรที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น Bis-GDA หรือ ตัวเจือจางเป็น MAA จะมีสีออกเหลือง และเหลืองชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อผสมฟลูออไรด์ ยกเว้นกลุ่มที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น DU-DMA ที่ใสไม่มีสี กลุ่มผสมโซเดียมฟลูออไรด์มีลักษณะใสโดยมองเห็นโซเดียมฟลูออไรด์กระจายตัวอยู่เป็นกลุ่มๆ ขณะที่กลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์นั้น มีลักษณะทึบแสงและมองเห็นแคลเซียมฟลูออไรด์กระจายตัวอยู่โดยทั่ว

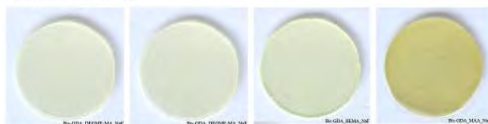
ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมจากเรซินฐานเกือบทุกสูตรมีลักษณะแข็งเกร็ง ยกเว้นสูตร GDA_DEGME-MA ที่มีความยืดหยุ่นและบิดให้โค้งงอได้ และ Bis-GDA_MAA ที่นิ่มและเกิดการฉีกขาดได้ง่ายขณะแกะออกจากแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผสมโซเดียมฟลูออไรด์ลงไป ชิ้นตัวอย่างจะนิ่มขึ้นและมีผิวหน้าเหนียวเหนอะหนะ

Bis-GDA

Control



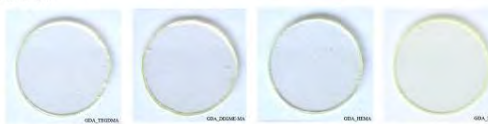
Sodium fluoride



Calcium fluoride

**GDA**

Control



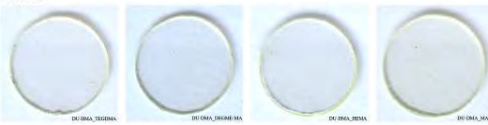
Sodium fluoride



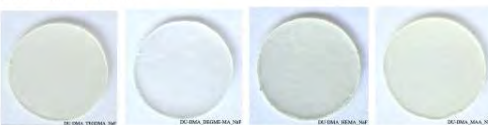
Calcium fluoride

**DU-DMA**

Control



Sodium fluoride



Calcium fluoride



รูปที่ 37 ลักษณะขึ้นตัวอย่างรูปเหรียญ สำหรับการคัดเลือกลูกสุตรขั้นที่ 1
(ตัวเจือจางจากซ้ายไปขวา คือ TEGDMA, DEGME-MA, HEMA และ MAA)

1.1. ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิว

ความแข็งผิวเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบ วัสดุที่นำมาเคลือบลงบนฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกควรมีความแข็งผิวอย่างน้อยเท่ากับค่าความแข็งผิวของฐานฟันเทียม ในเบื้องต้นจึงใช้ค่าความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกเป็นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ การทดสอบใช้หัวนูนปกคลุมบนผิวชิ้นตัวอย่างด้วยแรง 50 กรัม นาน 15 วินาที อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรอยกดบนชิ้นตัวอย่างที่เตรียมจากเรซินฐาน Bis-GDA_MAA มีขนาดใหญ่จนเกินขีดความสามารถของเครื่องทดสอบ จึงจำเป็นต้องลดแรงกดให้พอเหมาะ คือ 10 กรัม สำหรับสารเคลือบสูตรนี้ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 38

เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับทำฐานฟันเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้มีความแข็งผิว 20.8 ± 0.4 HK ขณะที่สารเคลือบที่เตรียมขึ้นทั้งหมด 36 สูตร มีความแข็งผิวอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.2 ถึง 27.5 HK โดยพบว่า มีสารเคลือบจำนวน 11 สูตร ที่มีความแข็งผิวเฉลี่ยสูงกว่าเรซินอะคริลิก และจำนวน 25 สูตร ที่ต่ำกว่าเรซินอะคริลิก เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน (Tamhane's T2) พบว่า มีสารเคลือบจำนวน 6 สูตรที่มีความแข็งผิวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินอะคริลิก จำนวน 7 สูตรที่มีความแข็งผิวสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินอะคริลิก โดยสูตรที่มี DU-DMA_MAA เป็นเรซินฐานมีความแข็งผิวสูงมาก (25.2-27.5 HK) สำหรับสูตรที่มีค่าความแข็งผิวต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินอะคริลิกนั้น มีจำนวน 23 สูตร โดยสูตรที่มี Bis-GDA_MAA และ GDA_DEGME-MA เป็นเรซินฐานมีความแข็งผิวต่ำมาก (0.2-2 HK)

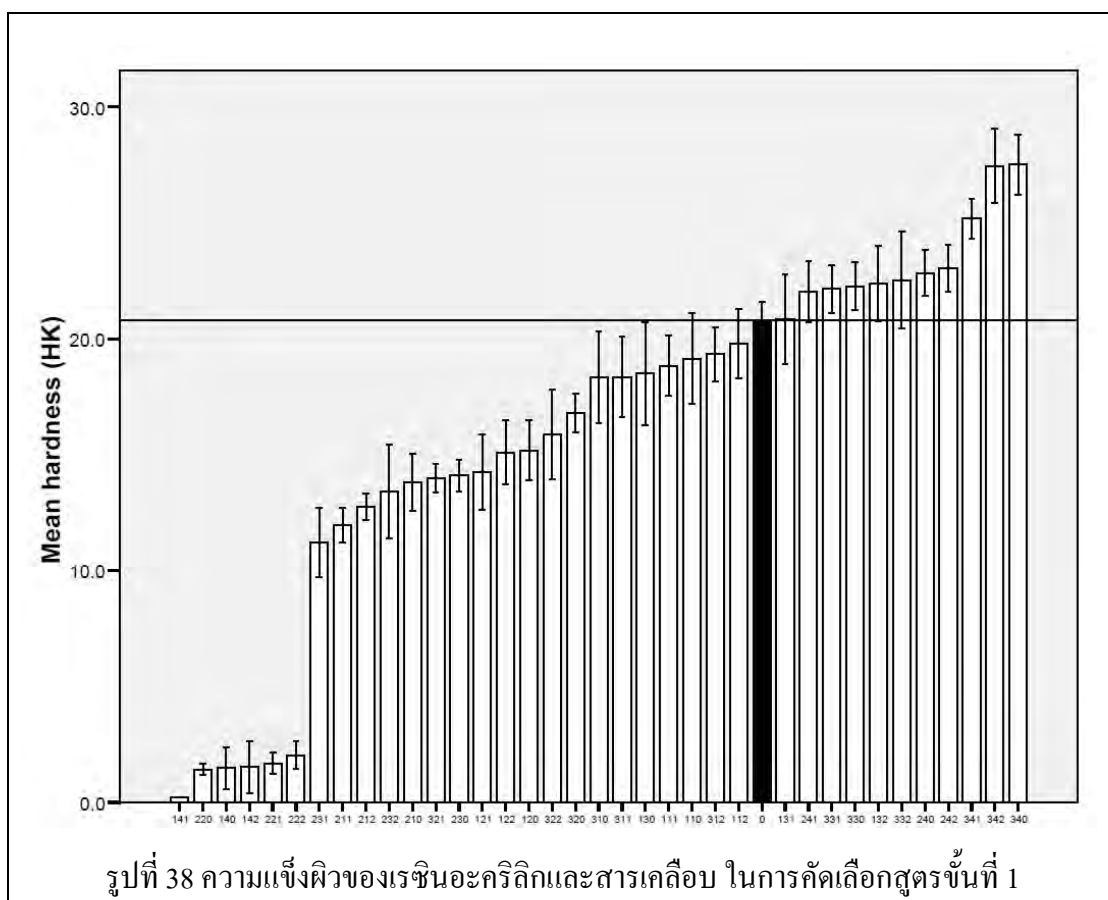
จากการวิเคราะห์ข้างต้น ทำให้มีสารเคลือบที่เข้าข่ายตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ มีความแข็งผิวไม่แตกต่างหรือสูงกว่าเรซินอะคริลิก จำนวน 13 สูตร ดังนี้ Bis-GDA_TEGDMA, Bis-GDA_TEGDMA_CaF₂, Bis-GDA_HEMA_NaF, Bis-GDA_HEMA_CaF₂, GDA_HEMA, GDA_HEMA_NaF, GDA_HEMA_CaF₂, DU-DMA_HEMA, DU-DMA_HEMA_NaF, DU-DMA_HEMA_CaF₂, DU-DMA_MAA, DU-DMA_MAA_NaF และ DU-DMA_MAA_CaF₂ โดยสารเคลือบเหล่านี้มีส่วนเรซินฐานคือ DU-DMA_MAA, GDA_MAA, DU-DMA_HEMA, Bis-GDA_HEMA และ Bis-GDA_TEGDMA

ตารางที่ 6 ความแข็งผิวของเรซินอะคริลิกและสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 1

สูตร	รหัส	เรซินฐาน		ฟลูออไรด์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		มอนอเมอร์ฐาน	ตัวเชื่อม				
0	0	ฐานฟีนเทียมเรซินอะคริลิก			20.8	0.4	*
1	110	Bis-GDA	TEGDMA	No	19.1	1.0	*
2	111			NaF	18.8	0.6	
3	112			CaF ₂	19.8	0.7	*
4	120	DEGME-MA		No	15.2	0.6	
5	121			NaF	14.2	0.8	
6	122			CaF ₂	15.1	0.7	
7	130	HEMA		No	18.5	1.1	
8	131			NaF	20.9	1.0	*
9	132			CaF ₂	22.4	0.8	*
10	140	MAA		No	1.5	0.5	
11	141			NaF	0.2	0.0	
12	142			CaF ₂	1.5	0.6	
13	210	GDA	TEGDMA	No	13.8	0.6	
14	211			NaF	12.0	0.4	
15	212			CaF ₂	12.7	0.3	
16	220	DEGME-MA		No	1.4	0.1	
17	221			NaF	1.7	0.2	
18	222			CaF ₂	2.0	0.3	
19	230	HEMA		No	14.1	0.3	
20	231			NaF	11.2	0.7	
21	232			CaF ₂	13.4	1.0	
22	240	MAA		No	22.8	0.5	
23	241			NaF	22.0	0.7	*
24	242			CaF ₂	23.0	0.5	
25	310	DU-DMA	TEGDMA	No	18.3	1.0	
26	311			NaF	18.3	0.9	
27	312			CaF ₂	19.3	0.6	
28	320	DEGME-MA		No	16.8	0.4	
29	321			NaF	14.0	0.3	
30	322			CaF ₂	15.9	1.0	
31	330	HEMA		No	22.3	0.5	
32	331			NaF	22.1	0.5	
33	332			CaF ₂	22.5	1.0	*
34	340	MAA		No	27.5	0.6	
35	341			NaF	25.2	0.4	
36	342			CaF ₂	27.5	0.8	

รหัสตัวแรก คือ มอนอเมอร์ฐาน รหัสตัวที่สอง คือ ตัวเชื่อม รหัสตัวที่สาม คือ ฟลูออไรด์

*ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฐานฟีนเทียมเรซินอะคริลิก ($p > 0.05$)



เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อความแข็งผิวของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า ความแข็งผิวได้รับอิทธิพลจากทั้ง มอนอเมอร์ฐาน ตัวเจือจาง ฟลูออไรด์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 7 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า มอนอเมอร์ฐาน DU-DMA มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวสูงสุด และแตกต่างจาก Bis-GDA และ GDA อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าตัวเจือจาง DEGME-MA มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวต่ำสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับฟลูออไรด์นั้นไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้ง 3 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีอิทธิพลต่อความแข็งผิว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20796.683 ^a	35	594.191	1304.569	.000
Intercept	89397.025	1	89397.025	196274.6	.000
base	4720.770	2	2360.385	5182.317	.000
diluent	3247.902	3	1082.634	2376.964	.000
fluoride	94.458	2	47.229	103.694	.000
base * diluent	12576.409	6	2096.068	4601.998	.000
base * fluoride	28.517	4	7.129	15.653	.000
diluent * fluoride	21.347	6	3.558	7.812	.000
base * diluent * fluoride	107.279	12	8.940	19.628	.000
Error	147.572	324	.455		
Total	110341.280	360			
Corrected Total	20944.255	359			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .992)

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบที่มีต่อความแข็งผิว

มอนอเมอร์ฐาน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: hardness
Tamhane

(I) base	(J) base	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Bis-GDA	GDA	1.412	.9903	.397	-.969	3.794
	DU-DMA	-6.878*	.8175	.000	-8.847	-4.908
GDA	Bis-GDA	-1.412	.9903	.397	-3.794	.969
	DU-DMA	-8.290*	.7895	.000	-10.192	-6.388
DU-DMA	Bis-GDA	6.878*	.8175	.000	4.908	8.847
	GDA	8.290*	.7895	.000	6.388	10.192

Based on observed means.

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

ตัวเจือจาง

Multiple Comparisons

Dependent Variable: hardness
Tamhane

(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
TEGDMA	DEGME-MA	6.218*	.7533	.000	4.204	8.231
	HEMA	-1.680*	.5592	.018	-3.170	-.190
	MAA	.113	1.2391	1.000	-3.211	3.438
DEGME-MA	TEGDMA	-6.218*	.7533	.000	-8.231	-4.204
	HEMA	-7.898*	.8209	.000	-10.085	-5.710
	MAA	-6.104*	1.3772	.000	-9.779	-2.430
HEMA	TEGDMA	1.680*	.5592	.018	.190	3.170
	DEGME-MA	7.898*	.8209	.000	5.710	10.085
	MAA	1.793	1.2814	.659	-1.637	5.224
MAA	TEGDMA	-.113	1.2391	1.000	-3.438	3.211
	DEGME-MA	6.104*	1.3772	.000	2.430	9.779
	HEMA	-1.793	1.2814	.659	-5.224	1.637

Based on observed means.

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

ฟลูออไรด์

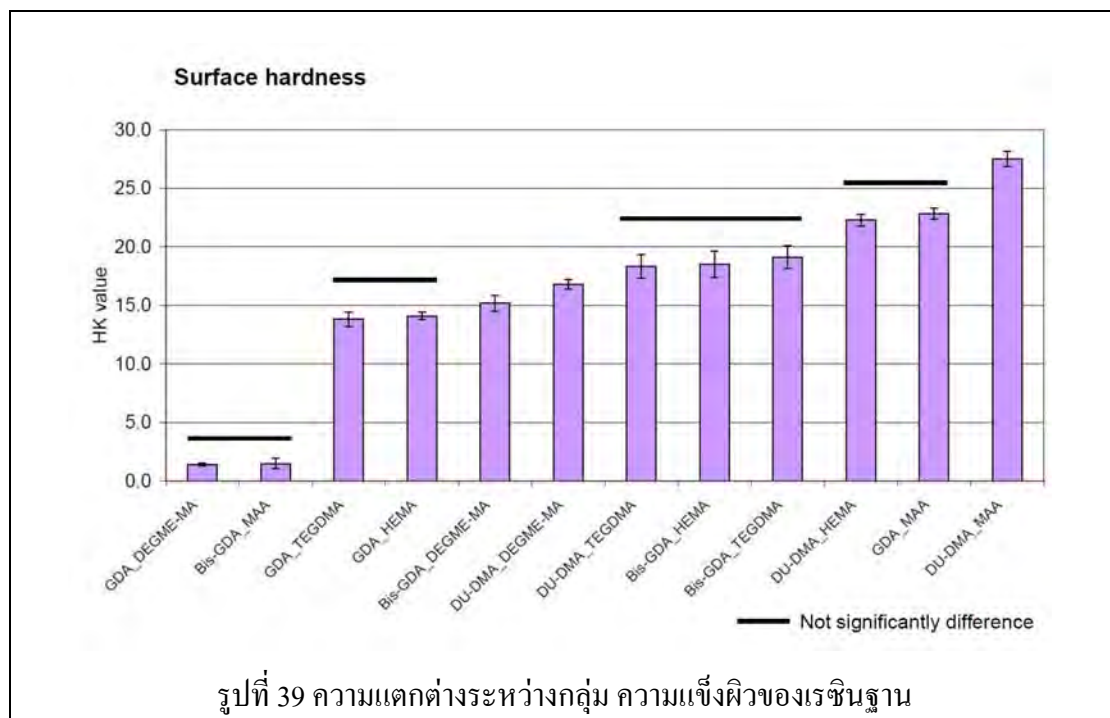
Multiple Comparisons

Dependent Variable: hardness
Tamhane

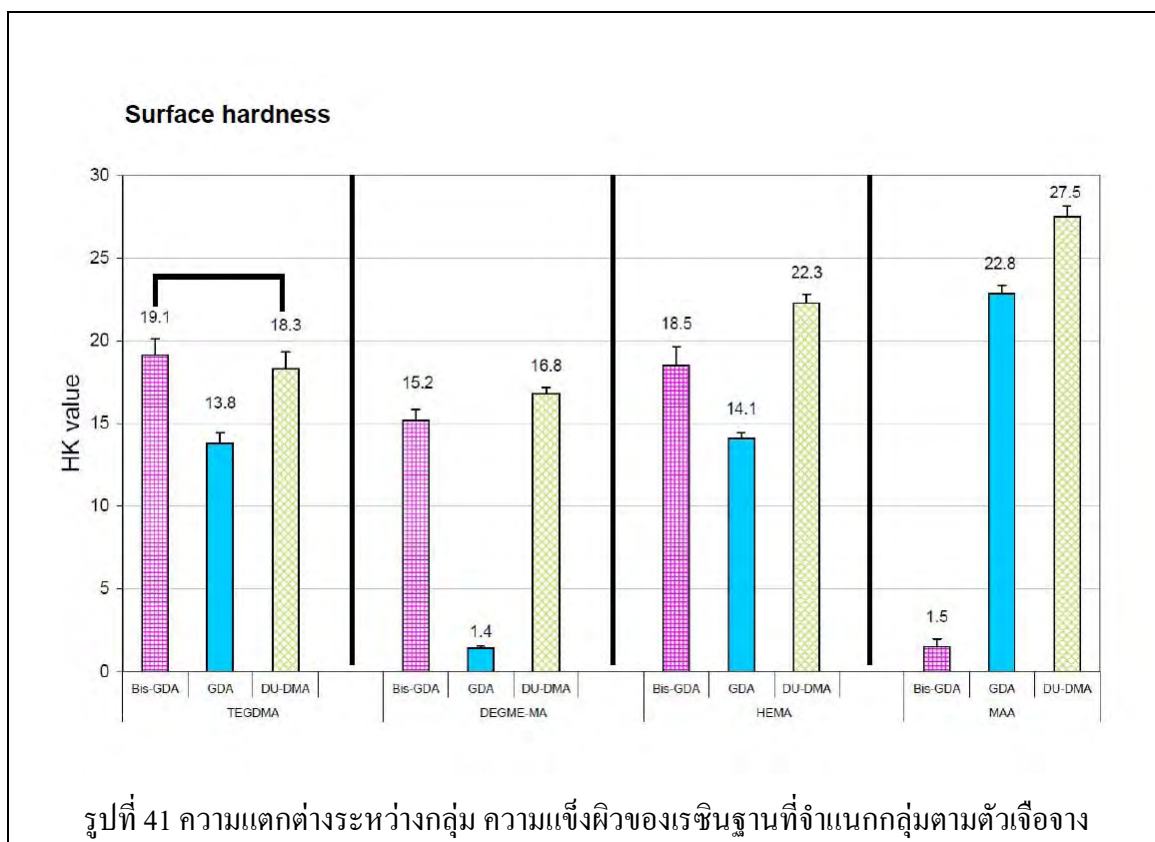
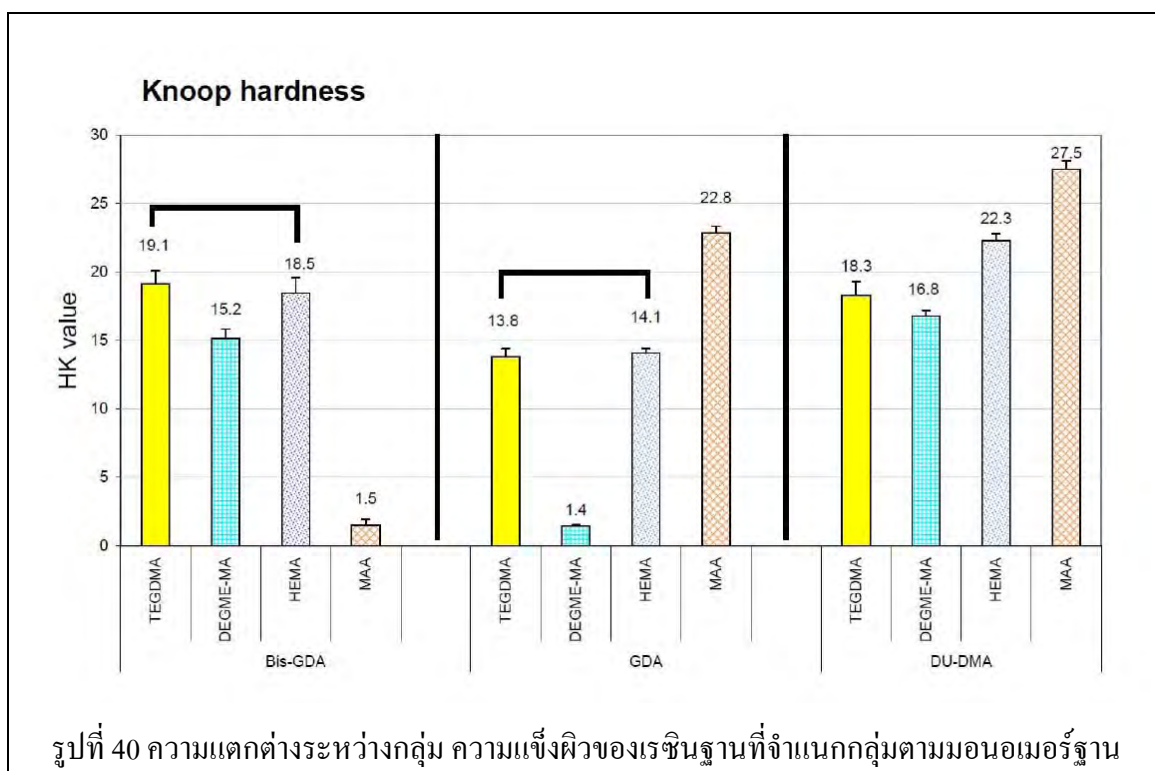
(I) fluoride	(J) fluoride	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	sodium fluoride	.892	.9787	.741	-1.461	3.246
	calcium fluoride	-.318	.9884	.984	-2.694	2.059
sodium fluoride	control	-.892	.9787	.741	-3.246	1.461
	calcium fluoride	-1.210	.9926	.533	-3.597	1.177
calcium fluoride	control	.318	.9884	.984	-2.059	2.694
	sodium fluoride	1.210	.9926	.533	-1.177	3.597

Based on observed means.

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของความแข็งผิวที่เป็นผลจากเรซินฐาน จึงนำข้อมูลกลุ่มควบคุมมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า เรซินฐานแต่ละสูตรมีความแข็งผิวแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 39 โดยเรซินฐาน DU-DMA_MAA มีความแข็งผิวสูงสุด ขณะที่เรซินฐาน Bis-GDA_MAA และ GDA_DEGME-MA มีความแข็งผิวต่ำสุด



เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยจำแนกกลุ่มตามชนิดของมอนอเมอร์ฐาน พบว่า ในกลุ่มที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น Bis-GDA สูตรที่ใช้ TEGDMA และ HEMA เป็นตัวเจือจาง ทำให้เรซินมีความแข็งผิวสูงสุด ขณะที่สูตรที่ใช้ MAA เป็นตัวเจือจาง ทำให้เรซินมีความแข็งผิวต่ำมาก สำหรับกลุ่มที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น GDA นั้น สูตรที่ใช้ MAA เป็นตัวเจือจาง มีความแข็งผิวสูงสุด ขณะที่สูตรที่ใช้ตัวเจือจาง DEGME-MA มีความแข็งผิวต่ำมาก โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง TEGDMA และ HEMA ส่วนกลุ่มที่มี DU-DMA เป็นมอนอเมอร์ฐานนั้น สูตรที่ผสมกับตัวเจือจาง MAA มีความแข็งผิวสูงสุด รองลงมาคือ HEMA, TEGDMA และ DEGME-MA ตามลำดับ โดยพบว่าทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 40 นอกจากนี้แล้วยังพบว่า DU-DMA มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวสูงกว่า Bis-GDA และ GDA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ใช้ตัวเจือจางชนิดเดียวกัน ยกเว้นกรณีที่ใช้ TEGDMA เป็นตัวเจือจาง ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างมอนอเมอร์ฐาน DU-DMA และ Bis-GDA ดังแสดงในรูปที่ 41



สาเหตุที่มอนอเมอร์ฐาน DU-DMA ทำให้วัสดุมีความแข็งผิวสูงนั้น เนื่องจากมีโซ่หลักเป็นยูรีเทนชนิดแอลิฟาติกที่มีความแข็งแรงและมีอิสระในการเคลื่อนไหวสูง การทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะคริเลตจึงเกิดได้ง่าย การเชื่อมขวางเกิดได้มาก และโมเลกุลอยู่ชิดติดกัน ส่วนมอนอเมอร์ฐาน Bis-GDA นั้น แม้ว่าจะมีโซ่หลักที่มีความแข็งแรงสูง แต่เนื่องจากอิสระในการเคลื่อนไหวถูกจำกัดด้วยความแข็งแรงของโครงสร้างที่เป็นวงแหวนเบนซีน การเชื่อมขวางจึงเกิดขึ้นได้ไม่ดีนัก สำหรับมอนอเมอร์ฐาน GDA นั้น แม้ว่าจะมีโซ่หลักเป็นโอลิโกเมอร์แอลิฟาติกที่มีอิสระในการเคลื่อนไหวสูง แต่เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารที่มีความแข็งแรงในโครงสร้างต่ำ จึงทำให้เรซินฐานที่ได้มีความแข็งผิวดำตามกัน ในส่วนของตัวเจือจาง สาเหตุที่ DEGME-MA ทำให้วัสดุมีความแข็งผิวดำนั้นเนื่องจากไดเอทิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์เป็นโซ่ข้างที่มีขนาดใหญ่ จึงขัดขวางการเข้ามาชิดกันของสายพอลิเมอร์และทำหน้าที่คล้ายกับเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกภายใน (internal plasticizer) โดยเฉพาะเมื่อผสมกับมอนอเมอร์ฐาน GDA ที่มีความแข็งแรงในโครงสร้างต่ำ วัสดุที่ได้จึงมีความยืดหยุ่นและบิดให้โค้งงอได้

การที่เรซินฐานแต่ละสูตรมีความแข็งผิวแตกต่างกันนั้น นอกจากเป็นผลของชนิดมอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจางแล้ว ยังเป็นผลจากการมีปฏิกิริยาต่อกันของส่วนประกอบหลักทั้งสอง การที่เรซินฐาน DU-DMA_MAA มีความแข็งผิวสูงสุด มีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาไม่ได้เกิดเฉพาะระหว่างหมู่อะคริเลตของ DU-DMA และ MAA เท่านั้น แต่สามารถเกิดระหว่างหมู่กรดคาร์บอกซิลิกของ MAA กับ หมู่แอมีน (secondary amine) ของ DU-DMA ได้เป็นการเชื่อมขวางแอมายด์ (amide linkage) สำหรับสาเหตุที่เรซินฐาน GDA_MAA มีความแข็งผิวสูง สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน คือ เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ GDA กับ หมู่กรดคาร์บอกซิลิกของ MAA ได้เป็นการเชื่อมขวางเอสเทอร์ (ester linkage) ที่นอกเหนือจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มอะคริเลต สำหรับกรณีที่เรซินฐาน Bis-GDA_MAA มีความแข็งผิวดำมากแม้ว่าจะมีหมู่ไฮดรอกซิลเช่นกันนั้น น่าจะเนื่องมาจากสารทั้งสองมีความไวปฏิกิริยาต่อกันต่ำ

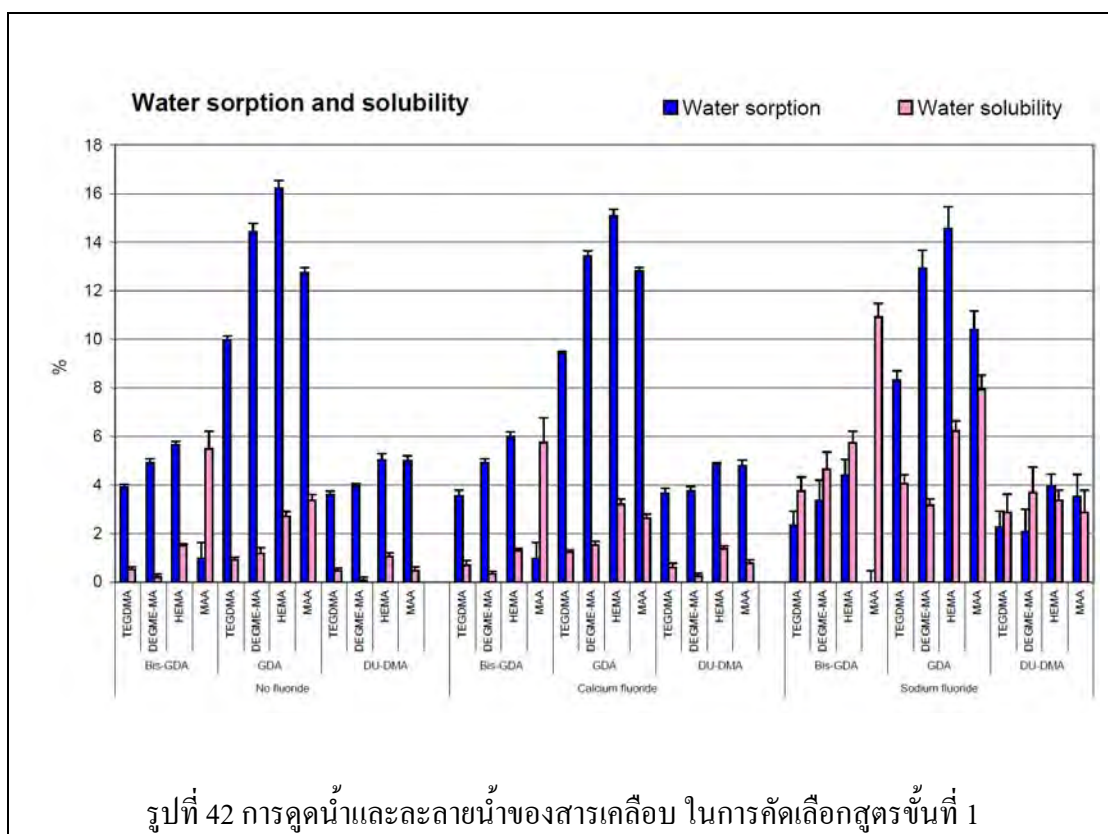
1.2. ผลการทดสอบสมบัติการดูดน้ำและละลายน้ำ

การปลดปล่อยฟลูออไรด์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อฟลูออไรด์ที่อยู่ในเนื้อวัสดุได้สัมผัสกับน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออน จากนั้นจึงค่อยๆ แพร่ผ่านออกไปที่ผิวโดยการพาของน้ำ เมื่อน้ำถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อวัสดุได้มาก โอกาสที่จะมีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกจากวัสดุมีได้สูง สำหรับการละลายน้ำที่คำนวณจากน้ำหนักแห้งที่ลดลงภายหลังการแช่น้ำนั้น เป็นข้อมูลที่บ่งชี้ว่ามีการสูญเสียส่วนประกอบจากวัสดุ ผลจากการติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่แช่นานาน 4 สัปดาห์ ได้ข้อมูลดังแสดงในในตารางที่ 9 และรูปที่ 42

ตารางที่ 9 การดูดน้ำและละลายน้ำของเรซินอะคริลิกและสารเคลือบ

สูตร	รหัส	เรซินฐาน			ร้อยละการดูดน้ำ		ร้อยละการละลายน้ำ	
		มอนอเมอร์ฐาน	ตัวเจือจาง	ฟลูออไรด์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	0	Denture base			2.59	0.22	0.32	0.24
1	110	Bis-GDA	TEGDMA	No	3.90	0.12	0.52	0.11
2	111			NaF	2.33	0.60	3.76	0.57
3	112			CaF ₂	3.55	0.24	0.70	0.18
4	120		DEGME-MA	No	4.91	0.17	0.21	0.14
5	121			NaF	3.36	0.85	4.64	0.72
6	122			CaF ₂	4.92	0.15	0.33	0.11
7	130		HEMA	No	5.66	0.14	1.50	0.07
8	131			NaF	4.39	0.66	5.74	0.47
9	132			CaF ₂	6.00	0.17	1.30	0.09
10	140		MAA	No	0.96	0.67	5.49	0.71
11	141			NaF	-0.16	0.63	10.91	0.57
12	142			CaF ₂	0.96	0.67	5.75	1.02
13	210	GDA	TEGDMA	No	9.98	0.17	0.91	0.12
14	211			NaF	8.32	0.39	4.06	0.35
15	212			CaF ₂	9.42	0.08	1.24	0.08
16	220		DEGME-MA	No	14.42	0.36	1.18	0.23
17	221			NaF	12.94	0.75	3.18	0.24
18	222			CaF ₂	13.42	0.23	1.52	0.16
19	230		HEMA	No	16.20	0.34	2.71	0.20
20	231			NaF	14.56	0.91	6.22	0.42
21	232			CaF ₂	15.07	0.28	3.21	0.22
22	240		MAA	No	12.73	0.23	3.36	0.26
23	241			NaF	10.39	0.77	7.93	0.59
24	242			CaF ₂	12.81	0.15	2.63	0.18
25	310	DU-DMA	TEGDMA	No	3.60	0.14	0.46	0.12
26	311			NaF	2.27	0.66	2.87	0.76
27	312			CaF ₂	3.68	0.20	0.60	0.17
28	320		DEGME-MA	No	3.94	0.12	0.08	0.11
29	321			NaF	2.07	0.93	3.70	1.05
30	322			CaF ₂	3.76	0.17	0.24	0.11
31	330		HEMA	No	5.03	0.27	1.04	0.17
32	331			NaF	3.97	0.46	3.36	0.43
33	332			CaF ₂	4.83	0.09	1.38	0.10
34	340		MAA	No	4.98	0.22	0.47	0.16
35	341			NaF	3.54	0.89	2.87	0.91
36	342			CaF ₂	4.80	0.22	0.78	0.12

รหัสตัวแรก คือ มอนอเมอร์ฐาน รหัสตัวที่สอง คือ ตัวเจือจาง รหัสตัวที่สาม คือ ฟลูออไรด์



เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อการดูดน้ำของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า การดูดน้ำได้รับอิทธิพลจากทั้ง มอนอเมอร์ฐาน ตัวเจือจาง ฟลูออไรด์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 10 และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วยวิธีทามฮาน พบว่า มอนอเมอร์ฐาน GDA มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำสูงและแตกต่างจากชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า ตัวเจือจาง HEMA มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำสูงสุดแต่ไม่แตกต่างจาก DEGME-MA อย่างมีนัยสำคัญ และตัวเจือจาง TEGDMA มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำต่ำสุดแต่ไม่แตกต่างจาก MAA อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของฟลูออไรด์นั้น โซเดียมฟลูออไรด์มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำต่ำสุดและแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีอิทธิพลต่อการดูดน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: W_sorption

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7541.471 ^a	35	215.471	945.773	.000
Intercept	15667.083	1	15667.083	68768.098	.000
base	6330.614	2	3165.307	13893.597	.000
diluent	564.320	3	188.107	825.664	.000
fluoride	160.999	2	80.500	353.340	.000
base * diluent	463.607	6	77.268	339.154	.000
base * fluoride	4.931	4	1.233	5.411	.000
diluent * fluoride	3.279	6	.547	2.399	.028
base * diluent * fluoride	13.721	12	1.143	5.019	.000
Error	73.815	324	.228		
Total	23282.370	360			
Corrected Total	7615.286	359			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .989)

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบที่มีต่อการดูดน้ำ

มอนอเมอร์ฐาน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: W_sorption
Tamhane

(I) base	(J) base	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Bis-GDA	GDA	-9.1228*	.28468	.000	-9.8076	-8.4381
	DU-DMA	-.4732	.20292	.061	-.9623	.0158
GDA	Bis-GDA	9.1228*	.28468	.000	8.4381	9.8076
	DU-DMA	8.6496*	.24022	.000	8.0700	9.2292
DU-DMA	Bis-GDA	.4732	.20292	.061	-.0158	.9623
	GDA	-8.6496*	.24022	.000	-9.2292	-8.0700

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตัวเจือจาง

Multiple Comparisons

Dependent Variable: W_sorption
Tamhane

(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
TEGDMA	DEGME-MA	-1.8559*	.58827	.012	-3.4245	-.2873
	HEMA	-3.1853*	.60751	.000	-4.8058	-1.5649
	MAA	-.4417	.59873	.976	-2.0385	1.1551
DEGME-MA	TEGDMA	1.8559*	.58827	.012	.2873	3.4245
	HEMA	-1.3294	.72235	.342	-3.2514	.5925
	MAA	1.4142	.71498	.262	-.4881	3.3165
HEMA	TEGDMA	3.1853*	.60751	.000	1.5649	4.8058
	DEGME-MA	1.3294	.72235	.342	-.5925	3.2514
	MAA	2.7437*	.73090	.001	.7990	4.6883
MAA	TEGDMA	.4417	.59873	.976	-1.1551	2.0385
	DEGME-MA	-1.4142	.71498	.262	-3.3165	.4881
	HEMA	-2.7437*	.73090	.001	-4.6883	-.7990

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

ฟลูออไรด์

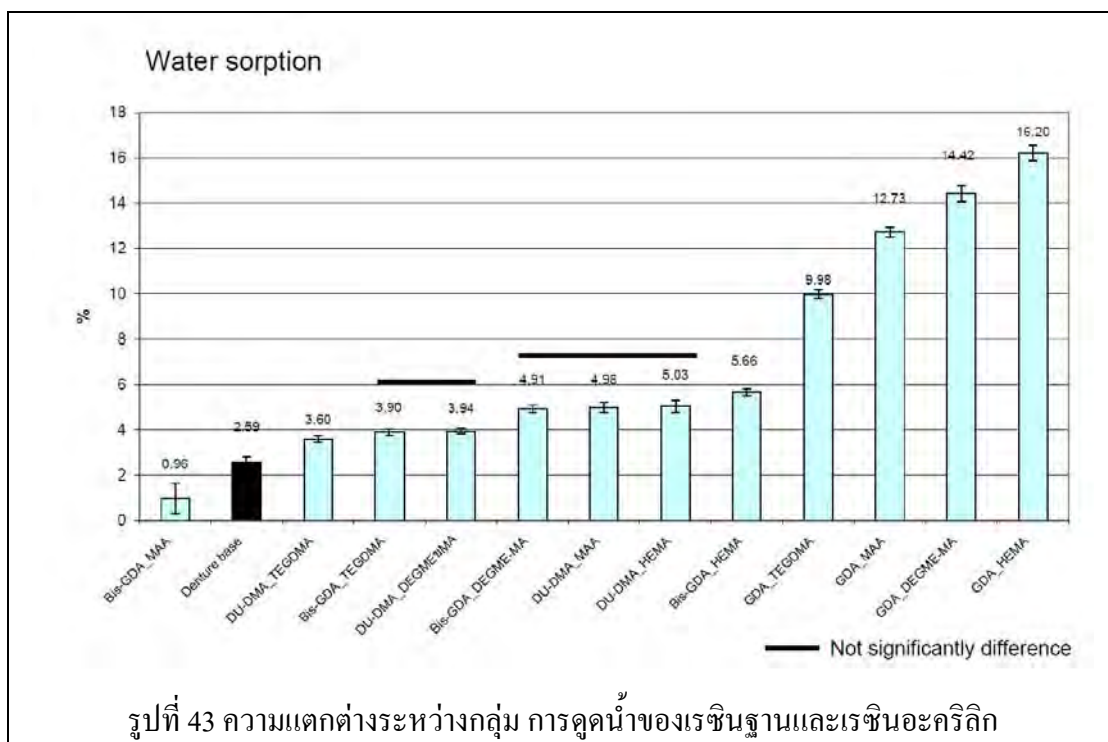
Multiple Comparisons

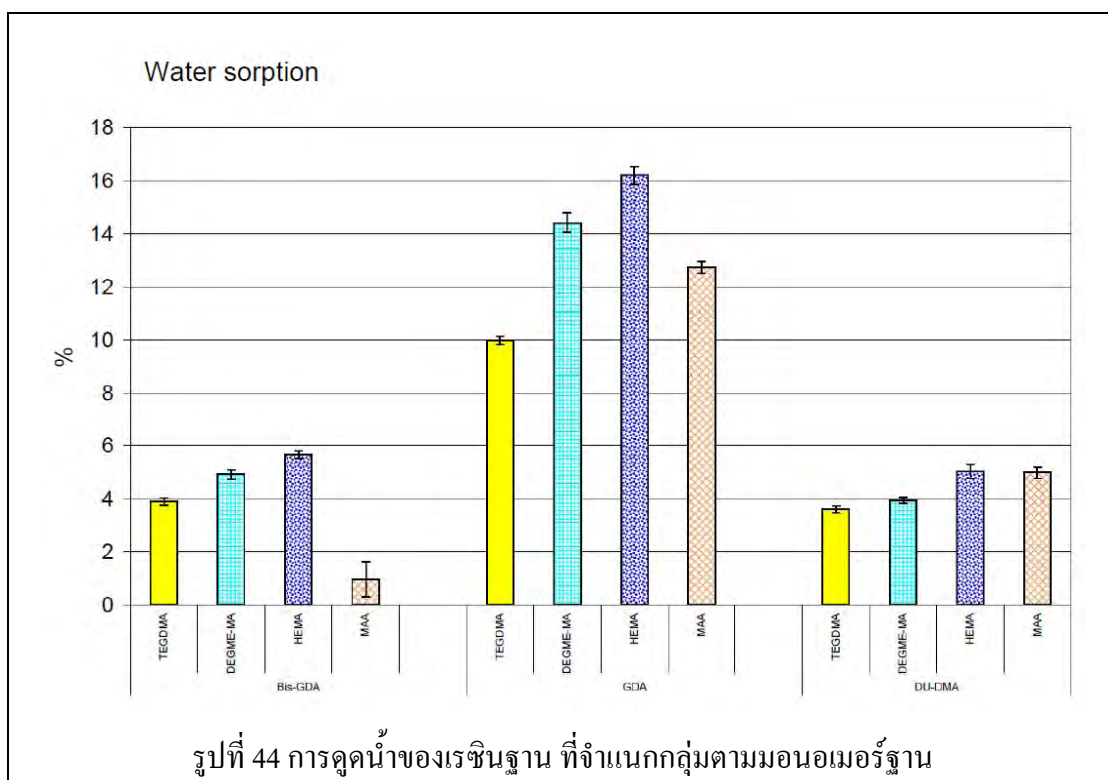
Dependent Variable: W_sorption
Tamhane

(I) fluoride	(J) fluoride	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	sodium fluoride	1.5299*	.59990	.034	.0874	2.9725
	calcium fluoride	.2580	.58848	.961	-1.1571	1.6731
sodium fluoride	control	-1.5299*	.59990	.034	-2.9725	-.0874
	calcium fluoride	-1.2719	.58123	.086	-2.6696	.1258
calcium fluoride	control	-.2580	.58848	.961	-1.6731	1.1571
	sodium fluoride	1.2719	.58123	.086	-.1258	2.6696

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการดูดน้ำที่เป็นผลจากเรซินฐาน และความแตกต่างกับเรซินอะคริลิกสำหรับทำฐานฟันเทียม จึงนำข้อมูลกลุ่มควบคุมมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีตามฮาน พบว่า เรซินฐานแต่ละสูตรและเรซินอะคริลิกมีการดูดน้ำแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 43 พบว่ามีเพียง Bis-GDA_MAA ที่มีการดูดน้ำต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินอะคริลิก และจากรูปที่ 44 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสูตรที่มี GDA เป็นมอนอเมอร์ฐานมีการดูดน้ำสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมาก โดยในกลุ่มนี้ตัวเจือจางที่ทำให้วัสดุมีการดูดน้ำสูงสุด คือ HEMA รองลงมาคือ DEGME-MA, MAA และ TEGDMA ตามลำดับ





สมบัติชอบน้ำของมอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจาง เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เรซินฐานมีการดูดน้ำสูง โดยมอนอเมอร์ฐาน GDA มีโซ่หลักเป็นกลีเซอรัลซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวน 3 ตัว อยู่ในโครงสร้าง จึงมีสมบัติชอบน้ำมาก และตัวเจือจาง HEMA ก็มีหมู่ไฮดรอกซิลเช่นกัน เรซินฐานที่มีสารทั้งสองชนิดเป็นส่วนประกอบจึงมีสมบัติดูดน้ำได้ดีมาก สำหรับมอนอเมอร์ฐาน Bis-GDA ที่แม้ว่าจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ 2 ตัว แต่เนื่องจากมีวงแหวนเบนซีนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงเป็นโซ่หลัก ความสามารถในการดูดน้ำของวัสดุจึงด้อยกว่ากลุ่มที่มี GDA เป็นมอนอเมอร์ฐาน

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า การละลายน้ำได้รับอิทธิพลจากทั้ง มอนอเมอร์ฐาน ตัวเจือจาง ฟลูออไรด์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 12 และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า มอนอเมอร์ฐาน DU-DMA มีผลให้สารเคลือบมีการละลายน้ำต่ำสุดและแตกต่างจาก Bis-GDA และ GDA อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า ตัวเจือจาง MAA มีผลให้สารเคลือบมีการละลายน้ำสูงสุด รองลงมาคือ HEMA โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง TEGDMA และ DEGME-MA ในส่วนของฟลูออไรด์นั้นพบว่า โซเดียมฟลูออไรด์มีผลให้สารเคลือบมีการละลายน้ำสูงสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีอิทธิพลต่อการละลายน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: W_solubility

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2111.314 ^a	35	60.323	317.458	.000
Intercept	2604.512	1	2604.512	13706.525	.000
base	263.125	2	131.562	692.361	.000
diluent	473.518	3	157.839	830.647	.000
fluoride	909.696	2	454.848	2393.687	.000
base * diluent	361.879	6	60.313	317.405	.000
base * fluoride	40.447	4	10.112	53.215	.000
diluent * fluoride	19.798	6	3.300	17.365	.000
base * diluent * fluoride	42.851	12	3.571	18.792	.000
Error	61.566	324	.190		
Total	4777.393	360			
Corrected Total	2172.881	359			

a. R Squared = .972 (Adjusted R Squared = .969)

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของส่วนประกอบที่มีต่อการละลายน้ำ

มอนอเมอร์ฐาน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: W_solubility
Tamhane

(I) base	(J) base	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Bis-GDA	GDA	.2258	.34411	.884	-.6026	1.0543
	DU-DMA	1.9159*	.31453	.000	1.1570	2.6748
GDA	Bis-GDA	-.2258	.34411	.884	-1.0543	.6026
	DU-DMA	1.6901*	.22391	.000	1.1511	2.2291
DU-DMA	Bis-GDA	-1.9159*	.31453	.000	-2.6748	-1.1570
	GDA	-1.6901*	.22391	.000	-2.2291	-1.1511

Based on observed means.

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

ตัวเจือจาง

Multiple Comparisons

Dependent Variable: W_solubility
Tamhane

(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
TEGDMA	DEGME-MA	.0051	.23380	1.000	-.6172	.6274
	HEMA	-1.2592*	.24607	.000	-1.9144	-.6041
	MAA	-2.7844*	.37712	.000	-3.7931	-1.7758
DEGME-MA	TEGDMA	-.0051	.23380	1.000	-.6274	.6172
	HEMA	-1.2643*	.26445	.000	-1.9680	-.5607
	MAA	-2.7896*	.38936	.000	-3.8294	-1.7497
HEMA	TEGDMA	1.2592*	.24607	.000	.6041	1.9144
	DEGME-MA	1.2643*	.26445	.000	.5607	1.9680
	MAA	-1.5252*	.39685	.001	-2.5843	-.4662
MAA	TEGDMA	2.7844*	.37712	.000	1.7758	3.7931
	DEGME-MA	2.7896*	.38936	.000	1.7497	3.8294
	HEMA	1.5252*	.39685	.001	.4662	2.5843

Based on observed means.

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

ฟลูออไรด์

Multiple Comparisons

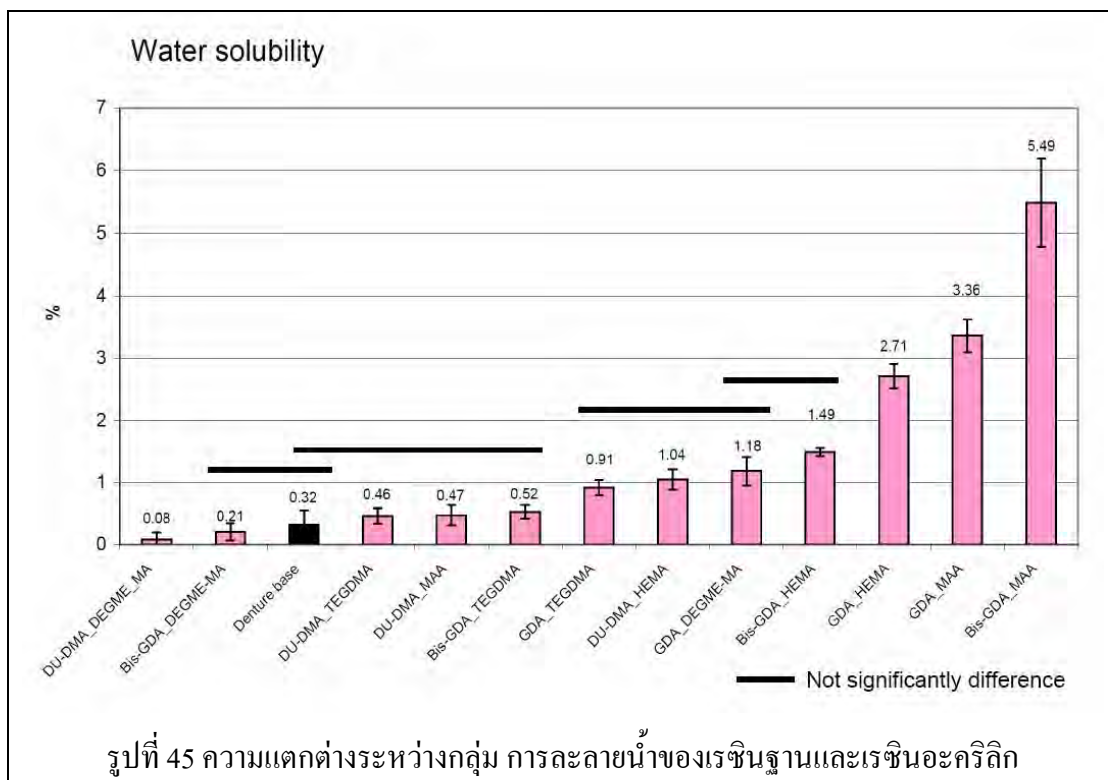
Dependent Variable: W_solubility
Tamhane

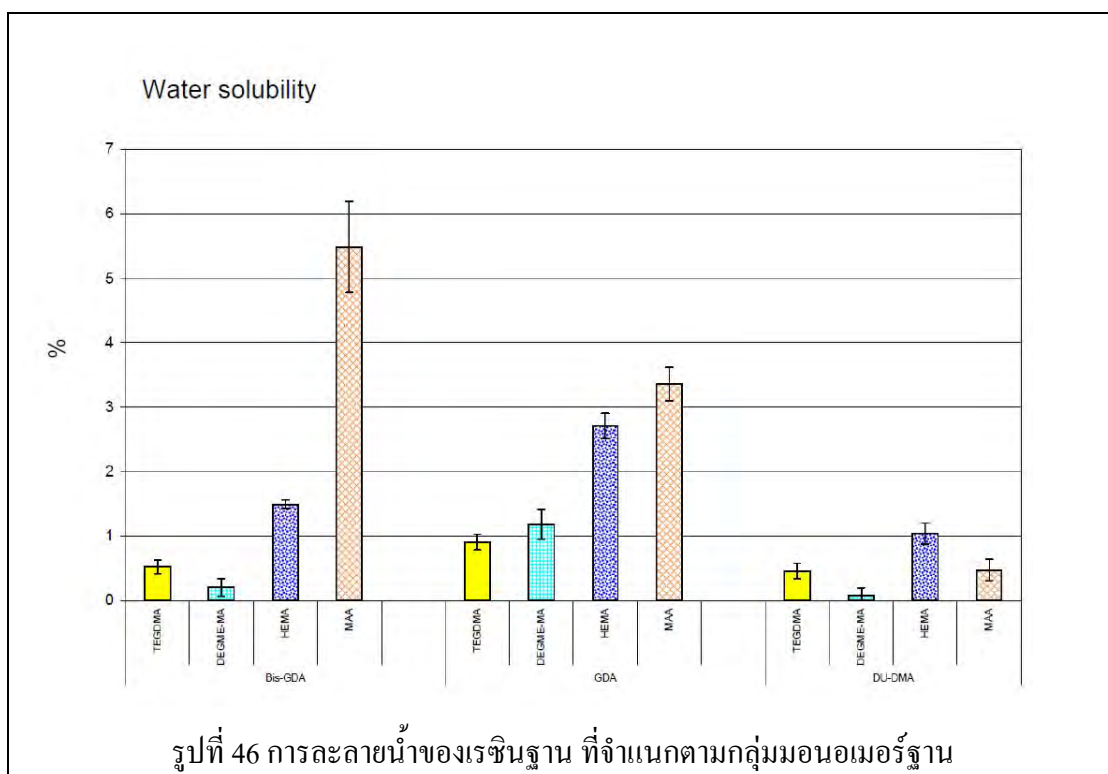
(I) fluoride	(J) fluoride	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	sodium fluoride	-3.4427*	.26217	.000	-4.0739	-2.8116
	calcium fluoride	-.1460	.20000	.848	-.6269	.3349
sodium fluoride	control	3.4427*	.26217	.000	2.8116	4.0739
	calcium fluoride	3.2967*	.26112	.000	2.6681	3.9254
calcium fluoride	control	.1460	.20000	.848	-.3349	.6269
	sodium fluoride	-3.2967*	.26112	.000	-3.9254	-2.6681

Based on observed means.

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

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการละลายน้ำที่เป็นผลจากเรซินฐาน และความแตกต่างกับเรซินอะคริลิกสำหรับทำฐานฟันเทียม จึงนำข้อมูลกลุ่มควบคุมมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียวและการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีตามฮาน พบว่าเรซินฐานแต่ละสูตรและเรซินอะคริลิกมีการละลายน้ำแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 45 พบว่าจากรเรซินฐานทั้งหมด 12 สูตร มีจำนวน 4 สูตรที่มีการละลายน้ำไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเรซินอะคริลิก โดยมีเรซินฐาน DU-DMA_DEGME-MA ที่มีการละลายน้ำต่ำกว่าเรซินอะคริลิกอย่างมีนัยสำคัญ และจากรูปที่ 46 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า สูตรที่มี DU-DMA เป็นมอนอเมอร์ฐานมีการละลายน้ำต่ำกว่ากลุ่มอื่น และ ตัวเจือจาง HEMA เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เรซินฐานมีการละลายน้ำสูง และยังพบว่า ตัวเจือจาง DEGME-MA เมื่อผสมกับมอนอเมอร์ฐาน Bis-GDA และ DU-DMA ทำให้ได้เรซินฐานที่มีการละลายน้ำที่ต่ำสุดในกลุ่ม





การที่เรซินฐานที่มีมอนอเมอร์ฐาน DU-DMA เป็นส่วนประกอบมีการละลายน้ำต่ำ นั้น เนื่องจาก DU-DMA มีโครงสร้างหลักเป็นยูริเทนชนิดแอลิฟาติกที่มีอิสระในการเคลื่อนไหวของโมเลกุลสูง การทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่เอคริเลตจึงเกิดได้ดี ทำให้วัสดุที่ได้มีการเชื่อมขวางสูง ส่วนสาเหตุที่ทำให้ เรซินฐานที่มีตัวเจือจาง HEMA เป็นส่วนประกอบมีการละลายน้ำสูงนั้นน่าจะเนื่องมาจากการถูกไฮโดรไลซ์โดยน้ำ สำหรับการละลายน้ำที่สูงมากของเรซินฐาน Bis-GDA_MAA นั้นเป็นสิ่งที่สนับสนุนว่าปฏิกิริยาการเกิดเป็นพอลิเมอร์ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีส่วนประกอบละลายออกมาในระหว่างการแช่น้ำเป็นจำนวนมาก ส่วนสาเหตุที่เรซินฐาน GDA_MAA มีการละลายน้ำสูงนั้นน่าจะเป็นผลจากการถูกไฮโดรไลซ์โดยน้ำ เพื่อให้สารเคลือบมีการละลายน้ำต่ำ สูตรเคลือบจึงควรมี DU-DMA, DEGME-MA และ TEGDMA เป็นส่วนผสม

1.3. ผลการทดสอบสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์

การปลดปล่อยฟลูออไรด์เป็นสมบัติพึงประสงค์สำหรับประสิทธิภาพในการ ป้องกันฟันผุ จากการติดตามการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยเก็บน้ำแช่ขึ้นตัวอย่างทั้งหมดมาวัดฟลูออไรด์และเปลี่ยนน้ำใหม่ทุกสัปดาห์ พบว่า สารเคลือบแต่ละสูตรมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ดังแสดงในตารางที่ 14 โดยในสัปดาห์แรก กลุ่มผสมโซเดียมฟลูออไรด์มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่ากลุ่มที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 เท่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากโซเดียมฟลูออไรด์มีการละลายน้ำสูงถึง 42 กรัม/ลิตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ขณะที่

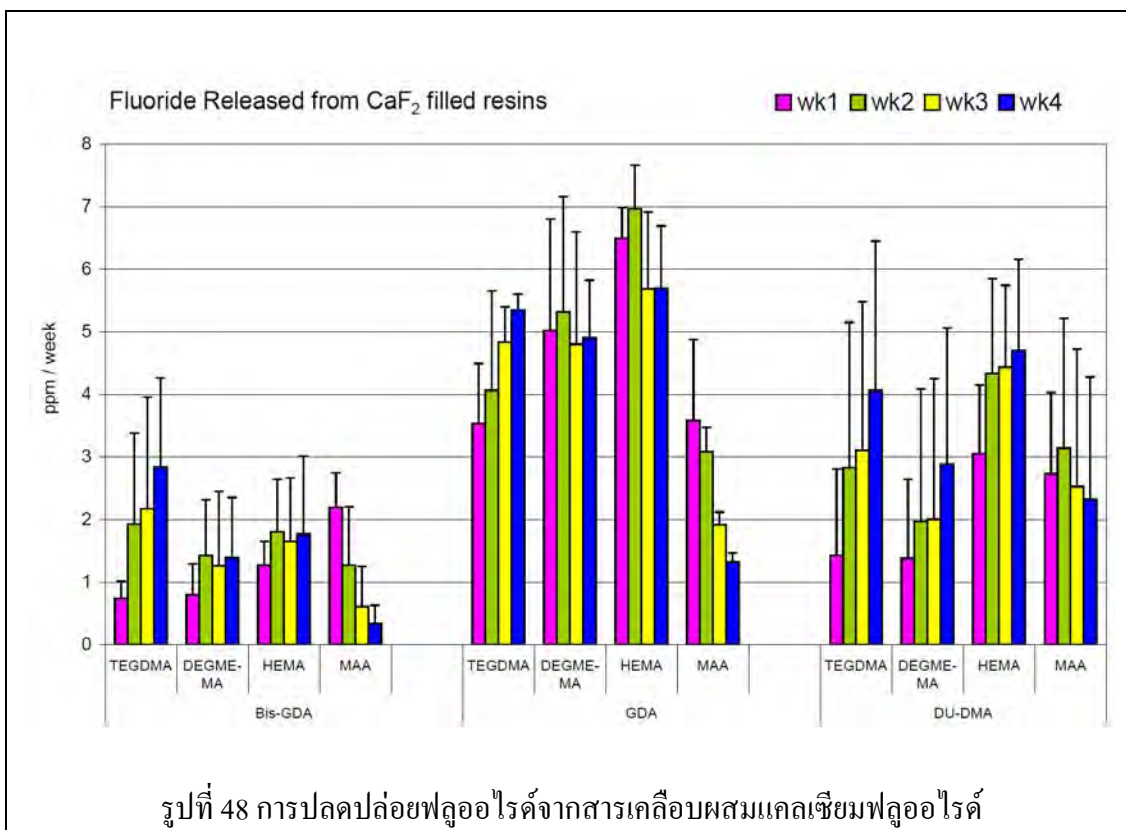
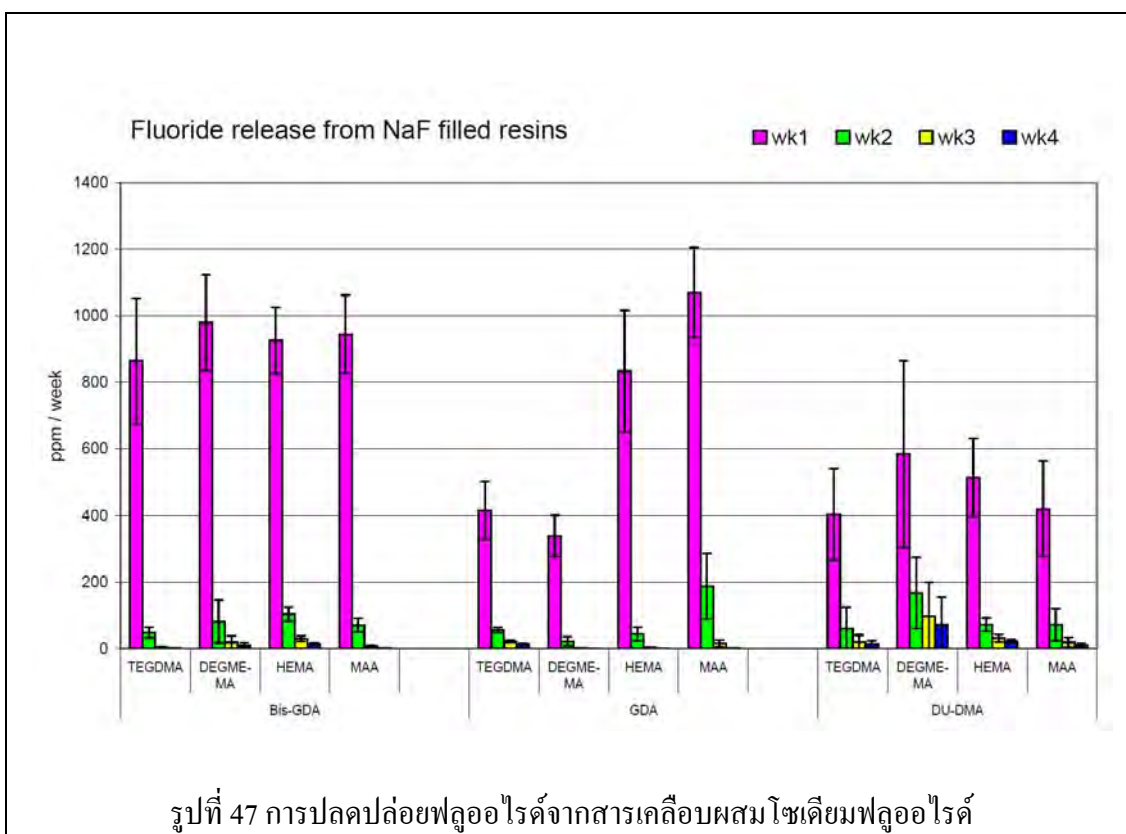
แคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายน้ำเพียง 0.016 กรัม/ลิตร (ที่ 18 องศาเซลเซียส) โดยความแตกต่างนี้สูงถึง 2,625 เท่า

ตารางที่ 14 ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบผสมโซเดียมฟลูออไรด์และแคลเซียมฟลูออไรด์

สูตร	รหัส	เรซินฐาน		ฟลูออไรด์	การปลดปล่อยฟลูออไรด์ (ppm/wk)			
		มอนอเมอร์ฐาน	ตัวเชื่อม		1	2	3	4
1	111	Bis-GDA	TEGDMA	NaF	864±188	48.7±15.3	4.07±0.9	0.93±0.26
2	121		DEGME-MA		979±144	81.3±64.5	19.1±18.8	10.2±7.09
3	131		HEMA		925±100	104±20.7	29.8±7.96	13.55±3.33
4	141		MAA		944±118	70.4±20.2	7.13±2.13	0.98±0.26
5	211	GDA	TEGDMA	NaF	416±86	56.4±7.7	21.8±3.62	13.5±2.80
6	221		DEGME-MA		338±62	21.7±14.2	1.27±0.75	0.16±0.13
7	231		HEMA		834±183	44.9±20.1	2.68±1.08	0.267±0.161
8	241		MAA		1069±136	189±99	15.2±10.4	1.40±1.20
9	311	DU-DMA	TEGDMA	NaF	403±138	60.0±64.3	20.2±21.1	12.7±12.1
10	321		DEGME-MA		585±281	167±107	96.6±102	71.1±83.5
11	331		HEMA		514±117	71.9±19.8	31.7±11.1	21.31±5.75
12	341		MAA		420±144	72.5±48.0	19.1±14.6	9.25±7.18
13	112	Bis-GDA	TEGDMA	CaF ₂	0.74±0.27	1.93±1.45	2.17±1.79	2.84±1.42
14	122		DEGME-MA		0.80±0.50	1.42±0.89	1.26±1.19	1.39±0.96
15	132		HEMA		1.27±0.38	1.80±0.84	1.65±1.02	1.76±1.25
16	142		MAA		2.19±0.56	1.27±0.93	0.61±0.64	0.33±0.30
17	212	GDA	TEGDMA	CaF ₂	3.54±0.95	4.06±1.59	4.83±0.57	5.35±0.25
18	222		DEGME-MA		5.02±1.78	5.31±1.84	4.80±1.79	4.90±0.92
19	232		HEMA		6.50±0.49	6.97±0.697	5.69±1.23	5.69±1.00
20	242		MAA		3.59±1.28	3.09±0.39	1.91±0.21	1.33±0.14
21	312	DU-DMA	TEGDMA	CaF ₂	1.42±1.39	2.83±2.32	3.11±2.38	4.06±2.38
22	322		DEGME-MA		1.38±1.26	1.97±2.11	2.00±2.25	2.89±2.18
23	332		HEMA		3.05±1.10	4.34±1.51	4.44±1.31	4.70±1.46
24	342		MAA		2.73±1.30	3.14±2.07	2.53±2.20	2.32±1.96

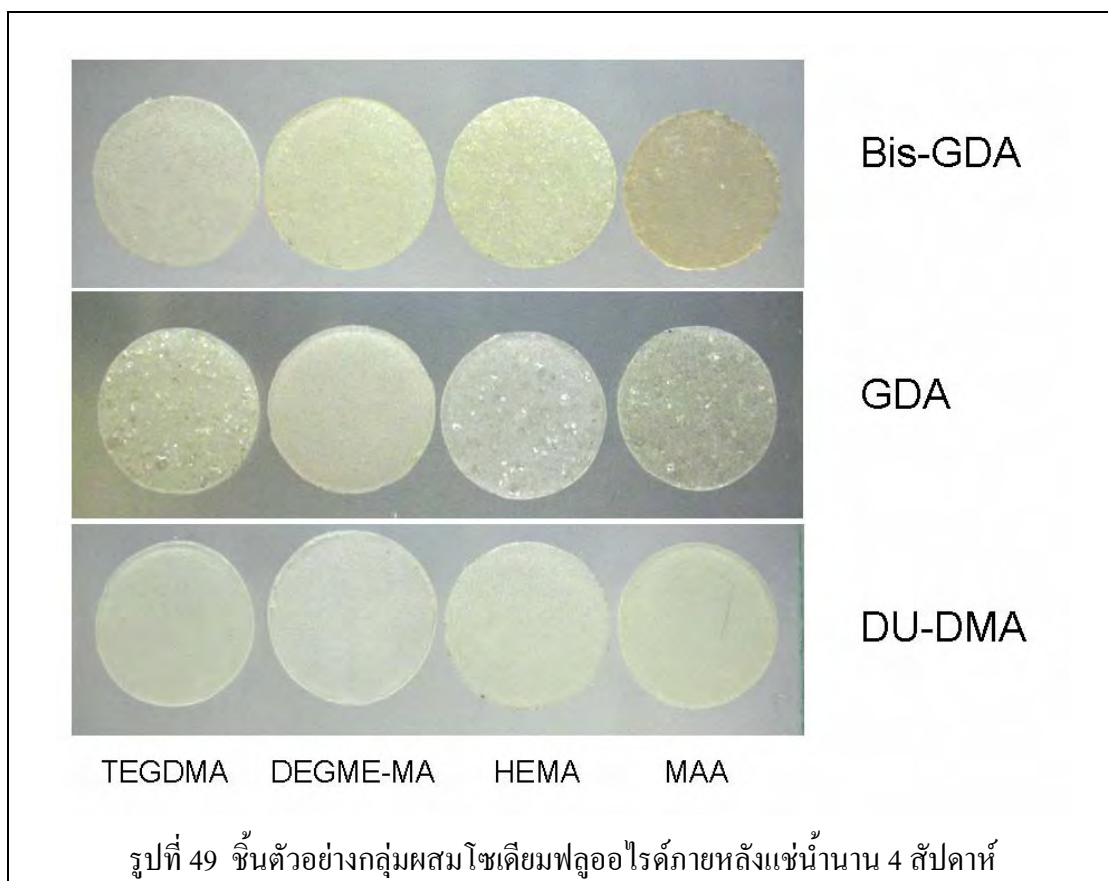
รหัสตัวแรก คือ มอนอเมอร์ฐาน รหัสตัวที่สอง คือ ตัวเชื่อม รหัสตัวที่สาม คือ ฟลูออไรด์

สารเคลือบผสมโซเดียมฟลูออไรด์ทุกสูตรมีรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่คล้ายคลึงกัน คือ มีการปลดปล่อยสูงในสัปดาห์แรก แล้วลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่สอง จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ในสัปดาห์ถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 47 ขณะที่สารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในระดับต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มผสมโซเดียมฟลูออไรด์ โดยสูตรที่มี GDA เป็นมอนอเมอร์ฐานมีการปลดปล่อยสูงสุด รองลงมาคือ DU-DMA และ Bis-GDA ตามลำดับ โดยสูตร Bis-GDA_MAA และ GDA_MAA มีการปลดปล่อยที่มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 48



1.4. การเปลี่ยนแปลงของชั้นตัวอย่างรูปเหรียญ

การเปลี่ยนแปลงของชั้นตัวอย่างภายหลังการแช่น้ำเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกส่วนประกอบของสูตรสารเคลือบ เพราะมีความเกี่ยวข้องกับความคงทนและอายุการใช้งานของสารเคลือบ จากการแช่ชั้นตัวอย่างในน้ำนาน 4 สัปดาห์ พบว่าสารเคลือบกลุ่มผสมโซเดียมฟลูออไรด์ที่มี Bis-GDA และ GDA เป็นมอนอเมอร์ฐาน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก อาทิเช่น มีผิวหน้าโป่งพอง เกิดรอยแตกที่ผิว มีเกล็ดสีขาวฝังอยู่ในเนื้อ และชั้นตัวอย่างเกิดการบิดเบี้ยว ซึ่งลักษณะเหล่านี้ไม่พบในสูตรที่มีมอนอเมอร์ฐานเป็น DU-DMA ดังแสดงในรูปที่ 49 สำหรับกลุ่มควบคุมนั้นพบว่ามีเพียงสูตร GDA_DEGME-MA ที่พบว่าตัวอย่างบางชิ้นเกิดรอยแตกที่ผิว ส่วนกลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์นั้นไม่พบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ การผสมโซเดียมฟลูออไรด์ลงในสูตรเคลือบจึงเป็นสิ่งที่ต้องพึงระวังเนื่องจากอาจทำให้สารเคลือบเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว



1.5. ผลการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 1

จากการทดสอบและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ ความแข็งผิว การดูดน้ำ การละลายน้ำ และ การปลดปล่อยฟลูออไรด์ รวมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีตัวอย่างภายหลังแช่น้ำ 4 สัปดาห์ ทำให้สามารถคัดเลือกส่วนประกอบเพื่อเตรียมสูตรสารเคลือบสำหรับการทดสอบและคัดเลือกในขั้นต่อไป ดังนี้

1. แคลเซียมฟลูออไรด์ เป็นแหล่งฟลูออไรด์ เนื่องจากทำให้สารเคลือบมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระดับต่ำและเพียงพอสำหรับการป้องกันฟันผุ และไม่พบว่าทำให้สีตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจากการแช่น้ำที่เห็นด้วยตา
2. DU-DMA เป็นมอนอเมอร์ฐานหลัก เนื่องจากทำให้สารเคลือบมีความแข็งผิวสูง มีการละลายน้ำต่ำ และไม่พบว่าสีตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงจากการแช่น้ำที่เห็นด้วยตา
3. GDA เป็นมอนอเมอร์ฐานที่ใช้สำหรับปรับปรุงสมบัติการดูดน้ำ และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของสารเคลือบ
4. DEGME-MA เป็นตัวเจือจาง เนื่องจากเมื่อผสมกับ DU-DMA แล้วทำให้ได้สารเคลือบที่มีการละลายน้ำต่ำที่สุดในกลุ่ม
5. TEGDMA เป็นตัวเจือจาง เนื่องจากเมื่อผสมกับ DU-DMA แล้ว ทำให้ได้สารเคลือบมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่ากรณีที่ใช้ DEGME-MA เป็นตัวเจือจาง แม้ว่าจะทำให้วัสดุมีการละลายน้ำสูงกว่าก็ตาม
6. Bis-GDA เป็นมอนอเมอร์ฐานที่ใช้สำหรับเพิ่มความหนืดของสูตรสารเคลือบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อไม่ให้ฟลูออไรด์ตกตะกอน

2. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 2

การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 2 เป็นการทดสอบผลของปริมาณมอนอเมอร์ฐาน GDA และผลของตัวเจือจาง TEGDMA, DEGME-MA และ TEGDMA 0.5_DEGME-MA_0.5 ที่มีต่อความแข็งแรง การดูน้ำ และการละลายน้ำ รวมทั้งศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบที่เตรียมขึ้น นอกจากนี้แล้วยังได้ศึกษาผลของ Bis-GDA ที่ผสมเข้าไปในสูตรที่มี GDA สัดส่วน 1.0 โมล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความหนืดและช่วยพยุงไม่ให้แคลเซียมฟลูออไรด์ตกตะกอน การศึกษาครั้งนี้ได้เตรียมเรซินฐานจำนวน 15 สูตร ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ฐานและตัวเจือจาง ด้วยสัดส่วนโดยโมล ดังแสดงในตารางที่ 15 สารริเริ่มปฏิกิริยาดังแสงที่ใช้ คือ แคมฟอร์ควิโนน และ ไคเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต ที่ผสมด้วยสัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักเรซิน และใช้แคลเซียมฟลูออไรด์เป็นสารแทรก ที่ผสมด้วยสัดส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเรซิน

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 2

สูตร	มอนอเมอร์ฐาน (mol)			ตัวเจือจาง (mol)	
	DU-DMA	GDA	Bis-GDA	TEGDMA	DEGME-MA
1	1.0	0.1	X	1.0	X
2	1.0	0.3	X	1.0	X
3	1.0	0.5	X	1.0	X
4	1.0	1.0	X	1.0	X
5	1.0	1.0	1.0	1.0	X
6	1.0	0.1	X	0.5	0.5
7	1.0	0.3	X	0.5	0.5
8	1.0	0.5	X	0.5	0.5
9	1.0	1.0	X	0.5	0.5
10	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
11	1.0	0.1	X	X	1.0
12	1.0	0.3	X	X	1.0
13	1.0	0.5	X	X	1.0
14	1.0	1.0	X	X	1.0
15	1.0	1.0	1.0	X	1.0

สารเคลือบที่เตรียมขึ้นมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด โดยความหนืดเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของ GDA ในสูตร และ หนืดมากยิ่งขึ้นเมื่อผสม Bis-GDA เพิ่มเข้าไป ซึ่งในเบื้องต้นได้คาดการณ์ว่าการเพิ่มความหนืดของสูตรโดยผสม Bis-GDA เข้าไปในสูตร จะสามารถช่วยแก้ปัญหา

การตกตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์ได้ แต่กลับพบว่าวิธีการนี้ช่วยได้เพียงยี่ระยะเวลาการตกตะกอนเท่านั้น

แม้ว่าการป้องกันการตกตะกอนของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การซึมซับโมเลกุลพอลิเมอร์ไว้ที่ผิวอนุภาค การทำให้เกิดเป็นไมเซลล์ (micelle) โดยห้อมล้อมอนุภาคไว้ด้วยสารลดแรงดึงผิว^[94] แต่เนื่องจากฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์มีน้อยอยู่แล้ว การใช้สารต่างๆ ไปหุ้มอนุภาคฟลูออไรด์ไว้อาจมีผลขวางกั้นการปลดปล่อยฟลูออไรด์ให้น้อยลงไปอีก จึงกลับมาทบทวนรูปแบบของผลิตภัณฑ์อีกครั้ง ประกอบกับเห็นว่าในทางทันตกรรมมีผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่เตรียมขึ้นในรูปผงและของเหลวที่นำมาผสมกันก่อนใช้ การเตรียมสารเคลือบผิวให้เป็น 2 ส่วน โดยส่วนผงเป็นแคลเซียมฟลูออไรด์และส่วนของเหลวเป็นเรซินที่ผสมสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงจึงเป็นวิธีการที่ไม่น่าจะเป็นปัญหาในทางปฏิบัติ และยังได้ประโยชน์จากการสามารถกำหนดปริมาณฟลูออไรด์ในสารเคลือบให้มีมากน้อยได้ตามต้องการ

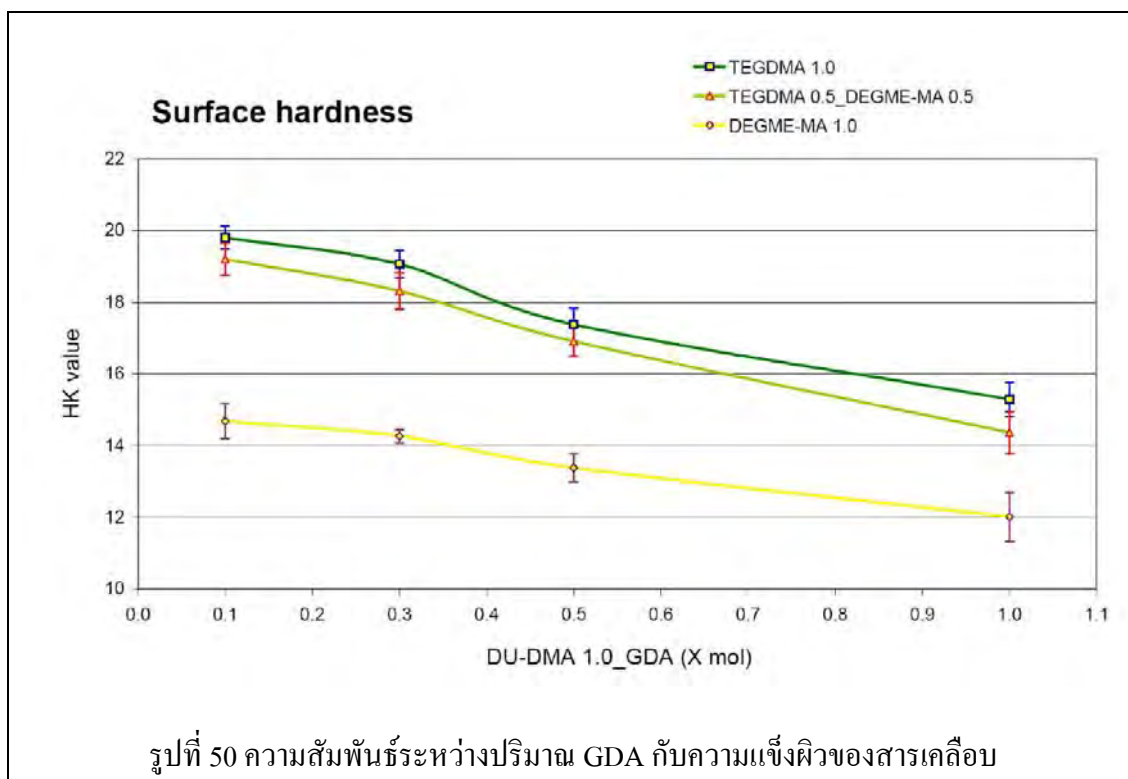
การคัดเลือกสูตรได้เตรียมขึ้นตัวอย่างรูปเหรียญตามวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 ของบทที่ 3 สำหรับทดสอบสมบัติ 4 ประการ คือ ความแข็งผิว การดูดน้ำ การละลายน้ำ และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ รวมทั้งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของขึ้นตัวอย่างที่เป็นผลจากการแช่น้ำ ขึ้นตัวอย่างที่เตรียมจากสารเคลือบทุกสูตรมีสีขาวทึบแสง มีความแข็งเกร็ง และมีแคลเซียมฟลูออไรด์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การทดสอบครั้งนี้ใช้ตัวอย่างสูตรละ 10 ชิ้น

2.1. ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิว

จากการทดสอบความแข็งผิวของขึ้นตัวอย่างโดยใช้หัวนูปกดลงบนผิวด้วยแรง 50 กรัม นาน 15 วินาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการผสม Bis-GDA เพิ่มเข้าไปในสูตรที่มี GDA สัดส่วน 1.0 โมล ทำให้ขึ้นตัวอย่างมีความแข็งผิวลดลง และเมื่อนำข้อมูลไปเขียนเป็นกราฟเส้นแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ GDA กับความแข็งผิวของสารเคลือบโดยจำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง พบว่าสารเคลือบมีความแข็งผิวลดลงเมื่อสัดส่วนของ GDA เพิ่มขึ้น และพบว่าสารเคลือบที่มีตัวเจือจางเป็น TEGDMA มีความแข็งผิวสูงกว่า DEGME-MA โดยกลุ่มตัวเจือจางผสม TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 มีความแข็งผิวดำกว่ากลุ่มที่ใช้ TEGDMA เล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 50

ตารางที่ 16 ความแข็งผิวของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2

สูตร	DU-DMA (mol)	Bis-GDA (mol)	GDA (mol)	ตัวเจือจาง (mol)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1.0	0	0.1	TEGDMA (1.0)	19.8	0.3
2		0	0.3		19.1	0.4
3		0	0.5		17.4	0.5
4		0	1.0		15.3	0.5
5		1.0	1.0		14.0	0.7
6	1.0	0	0.1	TEGDMA(0.5) + DEGME-MA (0.5)	19.2	0.5
7		0	0.3		18.3	0.5
8		0	0.5		16.9	0.4
9		0	1.0		14.4	0.6
10		1.0	1.0		12.9	0.7
11	1.0	0	0.1	DEGME-MA (1.0)	14.7	0.5
12		0	0.3		14.3	0.2
13		0	0.5		13.4	0.4
14		0	1.0		12.0	0.7
15		1.0	1.0		10.7	0.6



เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อความแข็งผิวของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า ความแข็งผิวได้รับอิทธิพลจากทั้ง

ปริมาณ GDA ชนิดของตัวเจือจาง และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 17 และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า มอนอเมอร์ฐาน GDA สัดส่วน 1 โมล มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวต่ำสุดและแตกต่างจากสัดส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และ ตัวเจือจาง DEGME-MA มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวต่ำสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งผิว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	720.957 ^a	11	65.542	304.608	.000
Intercept	31583.585	1	31583.585	146786.6	.000
GDA	278.670	3	92.890	431.712	.000
diluent	426.173	2	213.087	990.333	.000
GDA * diluent	16.114	6	2.686	12.481	.000
Error	23.238	108	.215		
Total	32327.780	120			
Corrected Total	744.195	119			

a. R Squared = .969 (Adjusted R Squared = .966)

ตารางที่ 18 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีต่อความแข็งผิว

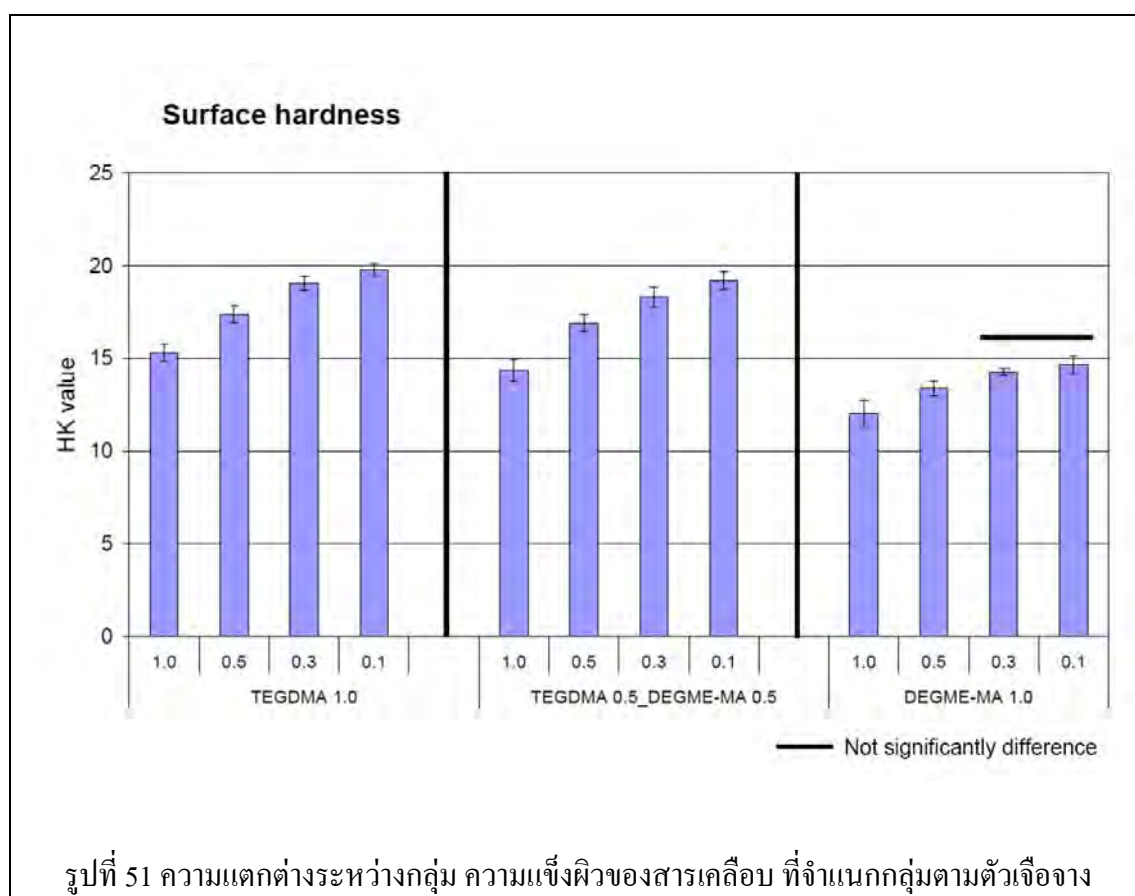
GDA		Multiple Comparisons					
		Dependent Variable: HK					
		Tamhane					
(I) GDA	(J) GDA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
GDA 0.1	GDA 0.3	.670	.5865	.833	-.928	2.268	
	GDA 0.5	1.990*	.5487	.004	.493	3.487	
	GDA 1.0	3.993*	.5123	.000	2.589	5.397	
GDA 0.3	GDA 0.1	-.670	.5865	.833	-2.268	.928	
	GDA 0.5	1.320	.5222	.083	-.104	2.744	
	GDA 1.0	3.323*	.4838	.000	2.000	4.647	
GDA 0.5	GDA 0.1	-1.990*	.5487	.004	-3.487	-.493	
	GDA 0.3	-1.320	.5222	.083	-2.744	.104	
	GDA 1.0	2.003*	.4372	.000	.811	3.196	
GDA 1.0	GDA 0.1	-3.993*	.5123	.000	-5.397	-2.589	
	GDA 0.3	-3.323*	.4838	.000	-4.647	-2.000	
	GDA 0.5	-2.003*	.4372	.000	-3.196	-.811	

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตัวเจือจาง		Multiple Comparisons					
		Dependent Variable: HK					
		Tamhane					
(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
TEGDMA	DEGME-MA	4.295*	.3360	.000	3.472	5.118	
	TEGDMA_DEGME-MA	.682	.4153	.281	-.331	1.696	
DEGME-MA	TEGDMA	-4.295*	.3360	.000	-5.118	-3.472	
	TEGDMA_DEGME-MA	-3.612*	.3499	.000	-4.471	-2.754	
TEGDMA_DEGME-MA	TEGDMA	-.682	.4153	.281	-1.696	.331	
	DEGME-MA	3.612*	.3499	.000	2.754	4.471	

Based on observed means.
*. The mean difference is significant at the .05 level.

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของความแข็งผิวที่เป็นผลจากปริมาณ GDA ในสูตร จึงนำข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวเจือจางมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 51 จะเห็นได้ว่า กรณีที่มีตัวเจือจางเป็น TEGDMA และ TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 สารเคลือบจะมีความแข็งผิวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกสัดส่วนของ GDA สำหรับกรณีที่มีตัวเจือจางเป็น DEGME-MA นั้น ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง GDA สัดส่วน 0.3 และ 1.0

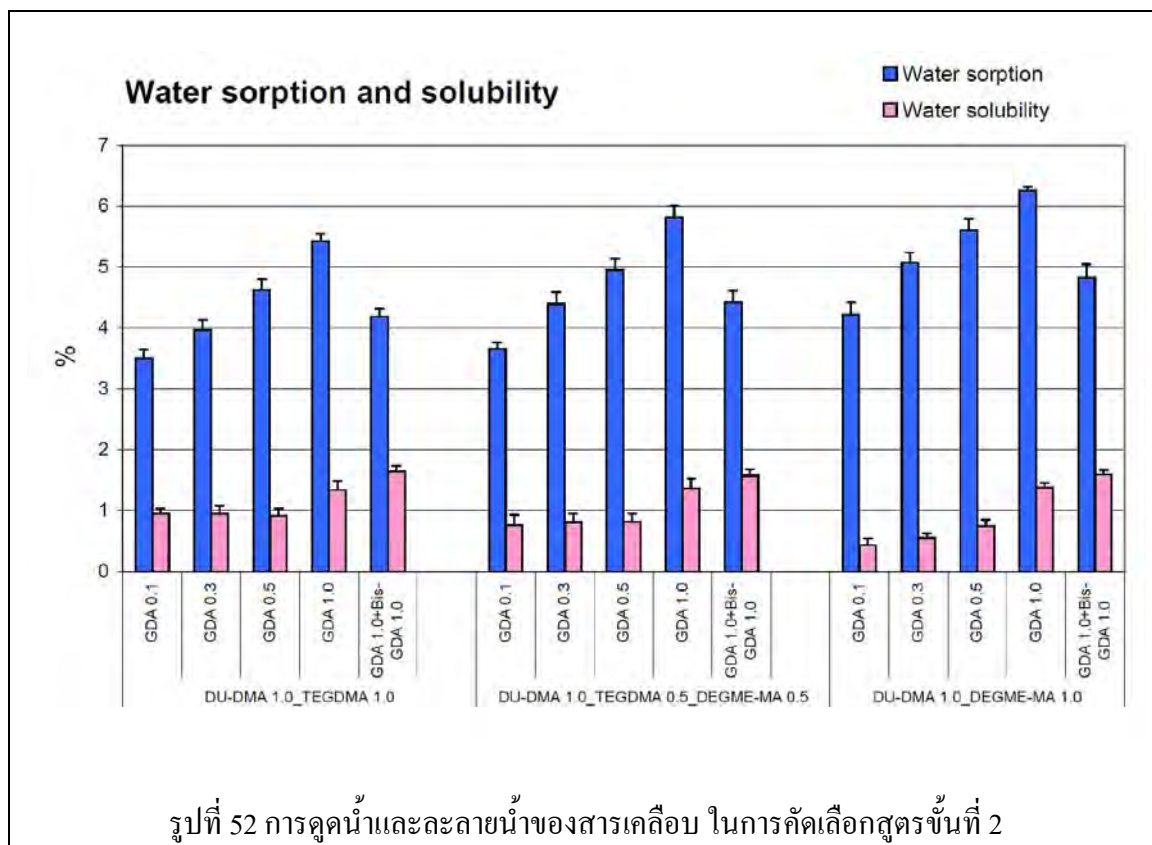


2.2. ผลการทดสอบสมบัติการดูดน้ำและละลายน้ำ

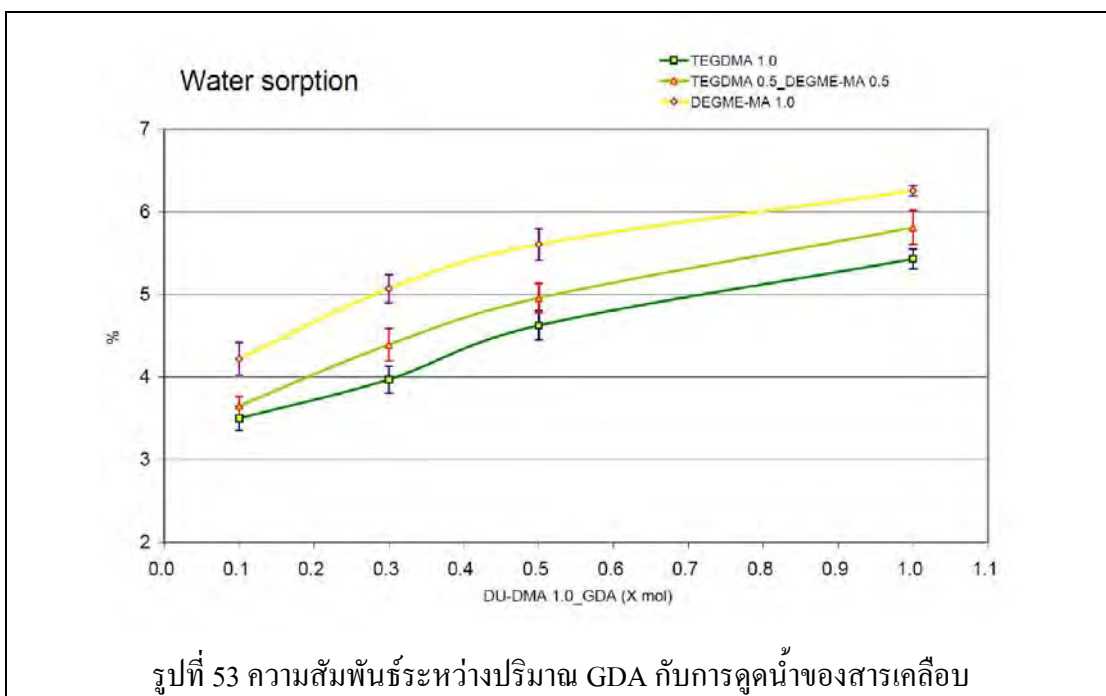
จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขึ้นตัวอย่างภายหลังแช่น้ำ 4 สัปดาห์ ทั้งในส่วนของน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 19 และรูปที่ 52 จะเห็นว่า การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ GDA ที่ผสมในสูตร และเมื่อผสม Bis-GDA ลงในสูตรที่มี GDA สัดส่วน 1.0 โมล วัสดุจะมีการดูดน้ำลดลงแต่มีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นน่าจะเนื่องมาจาก Bis-GDA มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ประกอบกับมีโซ่หลักที่แข็งแรง การเชื่อมขวางจึงเกิดได้น้อย และมีมอนอเมอร์ตกค้างอยู่ในเนื้อวัสดุที่ค่อยๆ ละลายออกมา

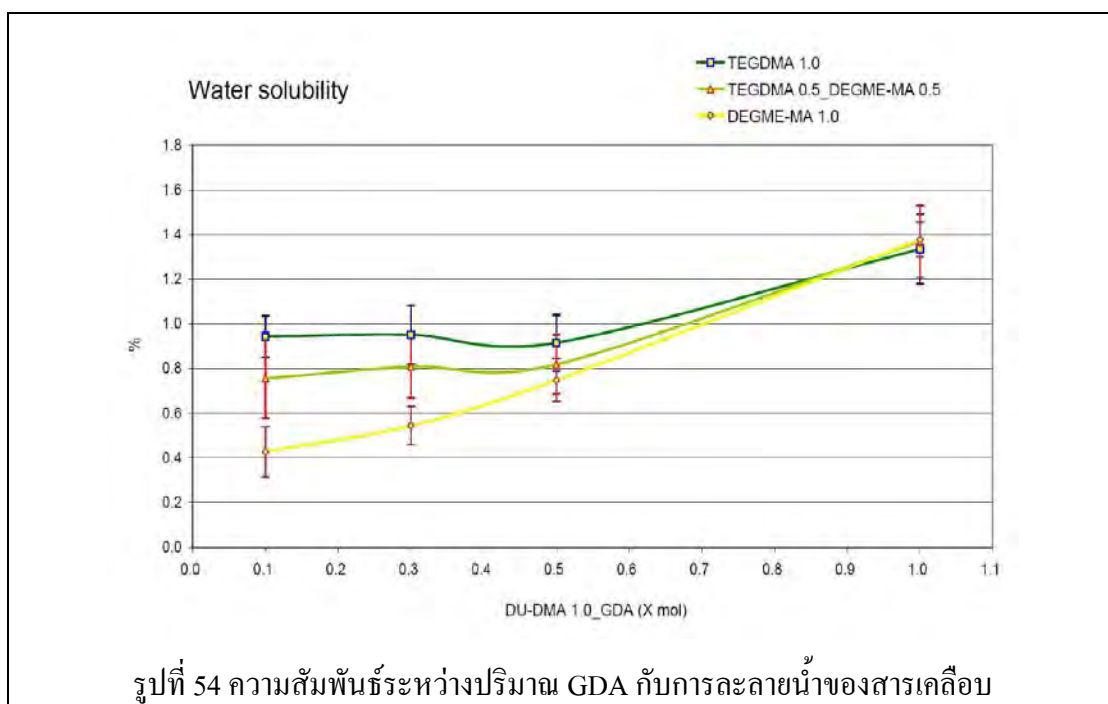
ตารางที่ 19 การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2

สูตร	DU-DMA (mol)	Bis-GDA (mol)	GDA (mol)	ตัวเจือจาง (mol)	ร้อยละการดูดน้ำ		ร้อยละการละลายน้ำ	
					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	1.0	0	0.1	TEGDMA (1.0)	3.50	0.15	0.94	0.09
2		0	0.3		3.97	0.16	0.95	0.13
3		0	0.5		4.62	0.18	0.92	0.12
4		0	1.0		5.43	0.12	1.33	0.16
5		1.0	1.0		4.19	0.12	1.64	0.09
6	1.0	0	0.1	TEGDMA(0.5)+ DEGME-MA (0.5)	3.65	0.11	0.76	0.18
7		0	0.3		4.39	0.20	0.81	0.14
8		0	0.5		4.96	0.18	0.82	0.13
9		0	1.0		5.81	0.21	1.37	0.16
10		1.0	1.0		4.42	0.18	1.57	0.11
11	1.0	0	0.1	DEGME-MA (1.0)	4.22	0.20	0.43	0.11
12		0	0.3		5.07	0.17	0.54	0.09
13		0	0.5		5.61	0.19	0.75	0.10
14		0	1.0		6.25	0.06	1.38	0.08
15		1.0	1.0		4.83	0.22	1.59	0.07



เมื่อนำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน GDA ในสูตรกับการดูดน้ำและการละลายน้ำของสารเคลือบโดยจำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง ดังแสดงในรูปที่ 53 และ 54 พบว่า สารเคลือบมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณ GDA ที่ผสมในสูตร โดยตัวเจือจาง DEGME-MA มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำสูงกว่า แต่มีการละลายน้ำต่ำกว่า TEGDMA และไม่พบที่มีความแตกต่างของการละลายน้ำที่เป็นผลจากชนิดของตัวเจือจางในสูตรที่ผสม GDA 1.0 โมล ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้จาก GDA เป็นมอนอเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 ตัว จึงมีสมบัติชอบน้ำมาก การผสมลงในสูตรเคลือบด้วยปริมาณที่สูงจึงทำให้พอลิเมอร์ถูกไฮโดรไลซ์โดยน้ำและละลายออกมาเป็นจำนวนมาก





รูปที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ GDA กับการละลายน้ำของสารเคลือบ

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อการดูดน้ำของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า การดูดน้ำได้รับอิทธิพลจากทั้ง ปริมาณ GDA ชนิดของตัวเจือจาง และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 20 และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วยวิธีทามฮาน พบว่า สารเคลือบมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณ GDA และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มความเข้มข้น และพบว่า ตัวเจือจาง DEGME-MA มีผลให้สารเคลือบมีการดูดน้ำสูงสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีอิทธิพลต่อการดูดน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Water_sorption

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	84.988 ^a	11	7.726	283.248	.000
Intercept	2754.058	1	2754.058	100966.2	.000
GDA	67.562	3	22.521	825.627	.000
diluent	16.897	2	8.449	309.733	.000
GDA * diluent	.529	6	.088	3.230	.006
Error	2.946	108	.027		
Total	2841.992	120			
Corrected Total	87.934	119			

a. R Squared = .966 (Adjusted R Squared = .963)

ตารางที่ 21 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีต่อการดูดน้ำ

GDA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Water_sorption
Tamhane

(I) GDA	(J) GDA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GDA 0.1	GDA 0.3	-.6860*	.11008	.000	-.9870	-.3850
	GDA 0.5	-1.2707*	.10401	.000	-1.5546	-.9867
	GDA 1.0	-2.0393*	.09279	.000	-2.2921	-1.7866
GDA 0.3	GDA 0.1	.6860*	.11008	.000	.3850	.9870
	GDA 0.5	-.5847*	.12168	.000	-.9162	-.2531
	GDA 1.0	-1.3533*	.11224	.000	-1.6599	-1.0468
GDA 0.5	GDA 0.1	1.2707*	.10401	.000	.9867	1.5546
	GDA 0.3	.5847*	.12168	.000	.2531	.9162
	GDA 1.0	-.7687*	.10630	.000	-1.0586	-.4787
GDA 1.0	GDA 0.1	2.0393*	.09279	.000	1.7866	2.2921
	GDA 0.3	1.3533*	.11224	.000	1.0468	1.6599
	GDA 0.5	.7687*	.10630	.000	.4787	1.0586

Based on observed means.

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

ตัวเจือจาง

Multiple Comparisons

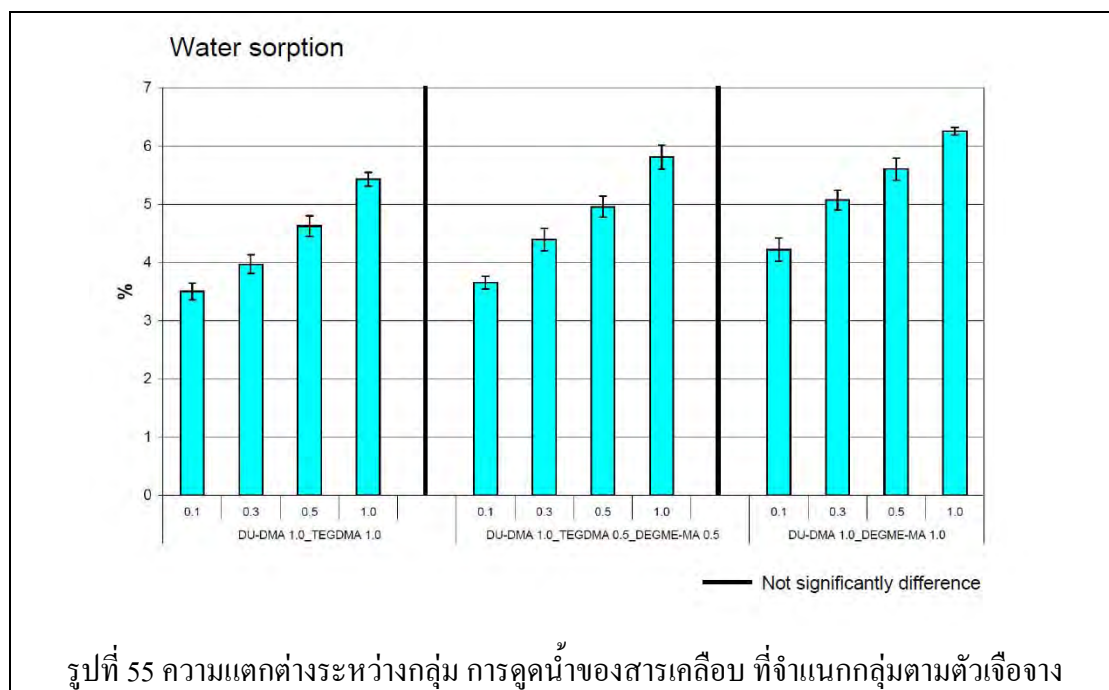
Dependent Variable: Water_sorption
Tamhane

(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
TEGDMA	DEGME-MA	-.9067*	.16988	.000	-1.3213	-.4922
	TEGDMA_DEGME-MA	-.3230	.17517	.193	-.7505	.1045
DEGME-MA	TEGDMA	.9067*	.16988	.000	.4922	1.3213
	TEGDMA_DEGME-MA	.5838*	.17756	.005	.1505	1.0170
TEGDMA_DEGME-MA	TEGDMA	.3230	.17517	.193	-.1045	.7505
	DEGME-MA	-.5838*	.17756	.005	-1.0170	-.1505

Based on observed means.

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

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการดูดน้ำที่เป็นผลจากปริมาณ GDA ในสูตรจึงนำข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวเจือจางมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธี Tamhane ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 55 จะเห็นได้ว่าการดูดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ GDA และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มความเข้มข้น



รูปที่ 55 ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การดูดน้ำของสารเคลือบ ที่จำแนกกลุ่มตามตัวเจือจาง

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของส่วนประกอบในสูตรที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารเคลือบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีหลายปัจจัย พบว่า การละลายน้ำได้รับอิทธิพลจากทั้ง ปริมาณ GDA ชนิดของตัวเจือจาง และอิทธิพลร่วมของปัจจัยข้างต้น ดังแสดงในตารางที่ 22 และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากความแตกต่างของปัจจัยหลักข้างต้น โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า มอนอเมอร์ฐาน GDA สัดส่วน 1.0 โมล มีผลให้สารเคลือบมีการละลายน้ำสูงสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า ตัวเจือจาง TEGDMA มีผลให้วัสดุมีการละลายน้ำสูงสุดและแตกต่างกับ DEGME-MA อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงปัจจัยของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีอิทธิพลต่อการละลายน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Water_solubility

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.440 ^a	11	.949	57.805	.000
Intercept	100.723	1	100.723	6134.603	.000
GDA	8.074	3	2.691	163.921	.000
diluent	1.400	2	.700	42.640	.000
GDA * diluent	.966	6	.161	9.802	.000
Error	1.773	108	.016		
Total	112.937	120			
Corrected Total	12.213	119			

a. R Squared = .855 (Adjusted R Squared = .840)

ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อน แสดงอิทธิพลของปริมาณ GDA และชนิดของตัวเจือจาง ที่มีต่อการละลายน้ำ

GDA

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Water_solubility
Tamhane

(I) GDA	(J) GDA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
GDA 0.1	GDA 0.3	-.0577	.05962	.915	-.2203	.1049
	GDA 0.5	-.1173	.05216	.164	-.2610	.0263
	GDA 1.0	-.6497*	.05208	.000	-.7931	-.5062
GDA 0.3	GDA 0.1	.0577	.05962	.915	-.1049	.2203
	GDA 0.5	-.0597	.04522	.724	-.1836	.0642
	GDA 1.0	-.5920*	.04513	.000	-.7157	-.4683
GDA 0.5	GDA 0.1	.1173	.05216	.164	-.0263	.2610
	GDA 0.3	.0597	.04522	.724	-.0642	.1836
	GDA 1.0	-.5323*	.03469	.000	-.6268	-.4378
GDA 1.0	GDA 0.1	.6497*	.05208	.000	.5062	.7931
	GDA 0.3	.5920*	.04513	.000	.4683	.7157
	GDA 0.5	.5323*	.03469	.000	.4378	.6268

Based on observed means.

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

ตัวเจือจาง

Multiple Comparisons

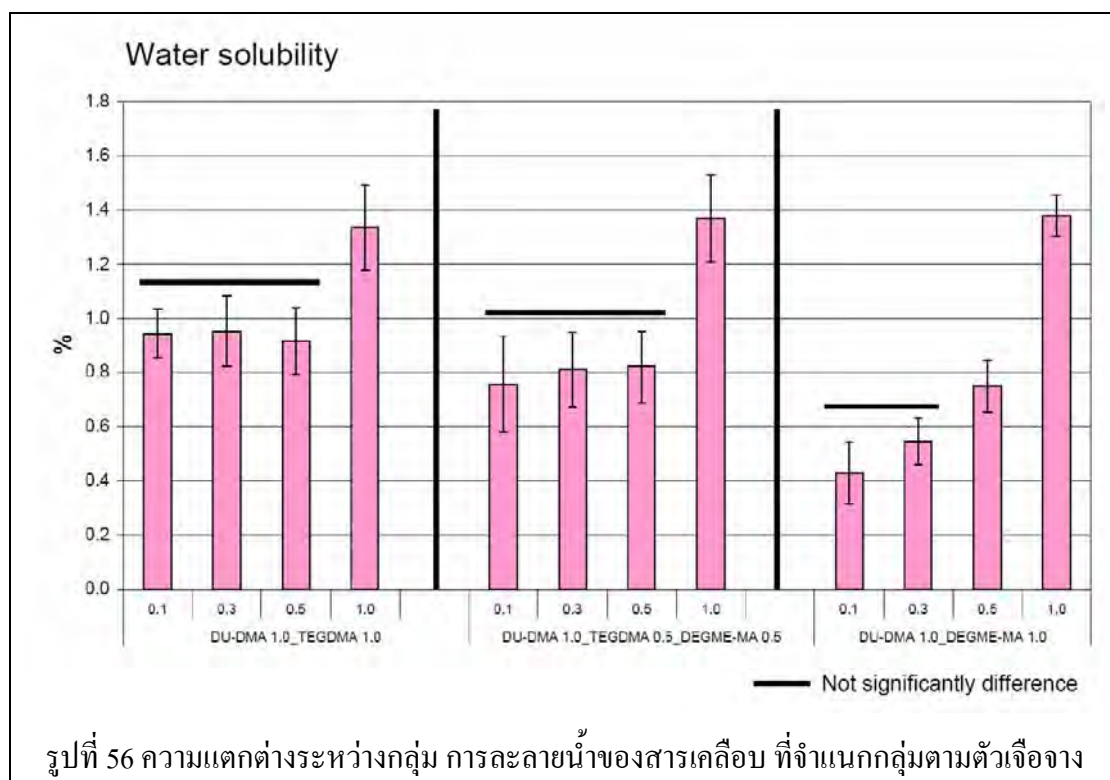
Dependent Variable: Water_solubility
Tamhane

(I) diluent	(J) diluent	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
TEGDMA	DEGME-MA	.2620*	.06923	.001	.0921	.4319
	TEGDMA_DEGME-MA	.0990	.05738	.243	-.0413	.2393
DEGME-MA	TEGDMA	-.2620*	.06923	.001	-.4319	-.0921
	TEGDMA_DEGME-MA	-.1630	.07601	.102	-.3487	.0227
TEGDMA_DEGME-MA	TEGDMA	-.0990	.05738	.243	-.2393	.0413
	DEGME-MA	.1630	.07601	.102	-.0227	.3487

Based on observed means.

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

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการละลายน้ำที่เป็นผลจากปริมาณ GDA จึงนำข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวเจือจางมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 56 จะเห็นได้ว่า สำหรับกลุ่มตัวเจือจาง TEGDMA และ TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 นั้น ไม่พบว่ามีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง GDA 0.1, 0.3 และ 0.5 และพบว่ากรณี GDA 1.0 โมล ทำให้วัสดุมีการละลายน้ำสูงสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

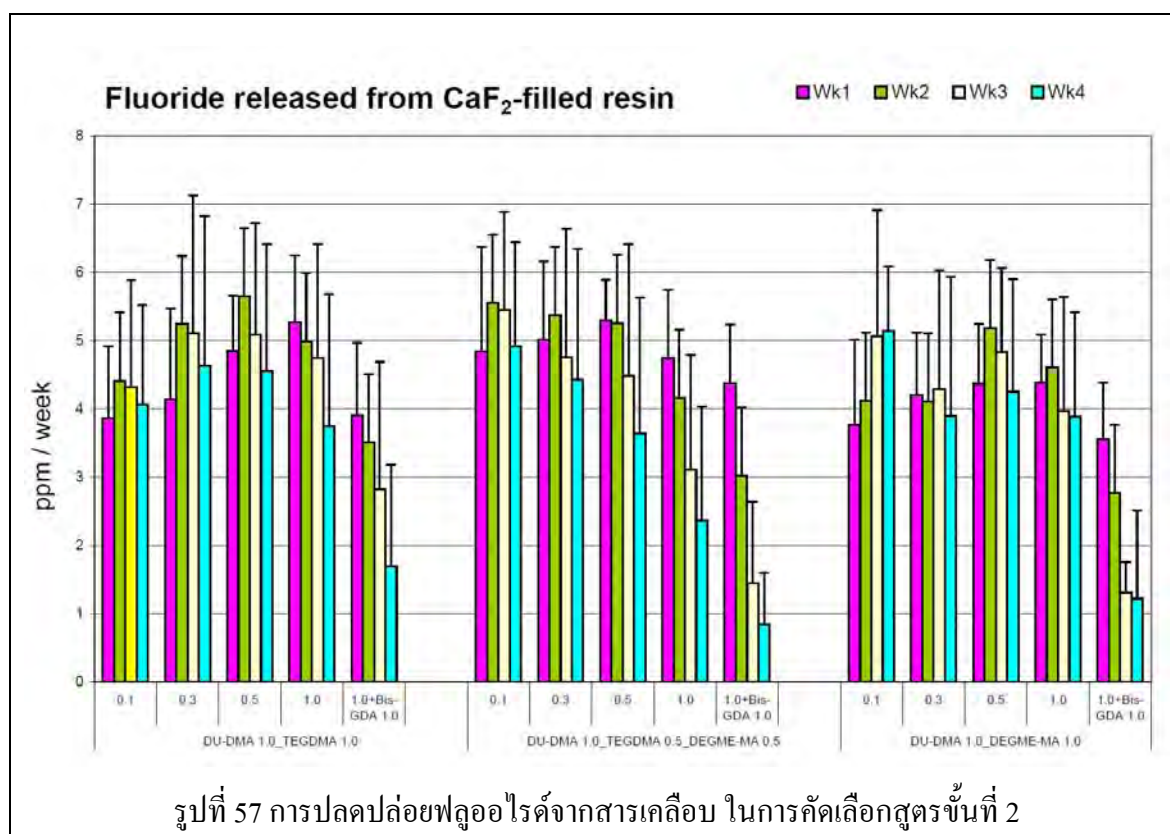


2.3. ผลการทดสอบสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์

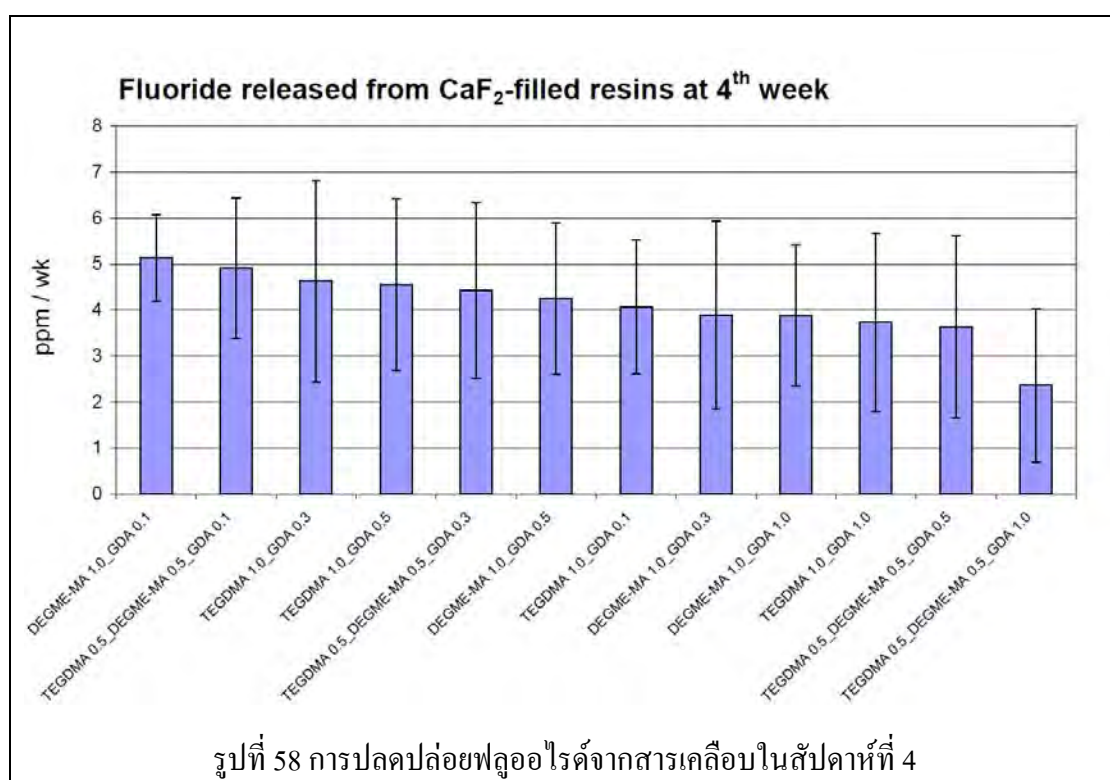
จากการติดตามการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์นาน 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลูออไรด์ที่ตรวจพบในน้ำแช่ชิ้นตัวอย่างสารเคลือบแต่ละสูตรมีค่าดังแสดงในตารางที่ 24 และรูปที่ 57 จะเห็นได้ว่าสารเคลือบส่วนใหญ่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นสูตรผสม Bis-GDA ที่การปลดปล่อยลดลงเรื่อยๆ อย่างชัดเจน จึงกล่าวได้ว่าการผสม Bis-GDA ลงในสูตรทำให้สมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุค่อยๆ ลดลง

ตารางที่ 24 ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2

สูตร	DU-DMA (mol)	Bis-GDA (mol)	GDA (mol)	ตัวเจือจาง (mol)	สัปดาห์ที่			
					1	2	3	4
1	1.0	0	0.1	TEGDMA (1.0)	3.87±1.05	4.41±1.30	4.32±1.56	4.06±1.45
2		0	0.3		4.14±1.33	5.24±1.39	5.11±2.02	4.63±2.19
3		0	0.5		4.85±0.81	5.65±1.12	5.09±1.63	4.55±1.86
4		0	1.0		5.26±0.98	4.99±1.62	4.75±1.67	3.74±1.94
5		1.0	1.0		3.90±1.06	3.51±1.56	2.82±1.86	1.69±1.49
6	1.0	0	0.1	TEGDMA(0.5) + DEGME-MA (0.5)	4.84±1.54	5.55±1.26	5.45±1.44	4.92±1.53
7		0	0.3		5.01±1.15	5.38±1.31	4.76±1.89	4.42±1.92
8		0	0.5		5.30±0.59	5.26±1.46	4.49±1.93	3.64±1.98
9		0	1.0		4.75±1.00	4.16±1.60	3.11±1.68	2.37±1.67
10		1.0	1.0		4.38±0.86	3.02±1.41	1.45±1.19	0.85±0.75
11	1.0	0	0.1	DEGME-MA (1.0)	3.77±1.24	4.12±1.80	5.06±1.85	5.14±0.95
12		0	0.3		4.21±0.91	4.11±1.56	4.28±1.75	3.90±2.04
13		0	0.5		4.37±0.87	5.18±1.52	4.83±1.23	4.25±1.65
14		0	1.0		4.39±0.70	4.61±1.57	3.97±1.67	3.88±1.53
15		1.0	1.0		3.55±0.83	2.76±0.68	1.31±0.44	1.22±1.29



เนื่องจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะยาวเป็นสิ่งที่ต้องการ จึงได้นำข้อมูลการปลดปล่อยฟลูออไรด์เฉพาะในสัปดาห์ที่ 4 มาพิจารณาเพื่อช่วยในการคัดเลือกสูตร จากกราฟแท่งที่เรียงลำดับค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากมากไปน้อย ดังแสดงในรูปที่ 58 จะเห็นได้ว่าสารเคลือบที่ปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงสุด 3 ลำดับแรก คือ DU-DMA 1.0_DEGME-MA 1.0_GDA 0.1, DU-DMA 1.0_TEGDEMA 0.5_DEGME-MA 0.5_GDA 0.1 และ DU-DMA 1.0_TEGDMA 1.0_GDA 0.3 ซึ่งเป็นตัวแทนของตัวเจือจางแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามการพิจารณาคัดเลือกสูตรจะต้องนำข้อมูลค่าความแข็งแรงผิว การดูดน้ำ และการละลายน้ำมาประกอบด้วยเสมอ



2.4. ผลการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2

จากการทดสอบสมบัติข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า Bis-GDA ไม่เหมาะสมสำหรับการเป็นส่วนประกอบในสูตรเคลือบ เนื่องจากทำให้วัสดุมีความแข็งผิวลดลง การดูดน้ำลดลง และการละลายน้ำสูงขึ้น สำหรับสัดส่วนของ GDA ที่ผสมลงในสูตรนั้นไม่ควรให้มีเกิน 0.5 โมล เนื่องจากทำให้วัสดุมีการละลายน้ำที่สูงและสูงมากเมื่อผสมด้วยสัดส่วน 1.0 โมล ส่วนชนิดของตัวเจือจางนั้น พบว่า DEGME-MA ทำให้วัสดุมีการละลายน้ำต่ำซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการ แต่เนื่องจากตัวเจือจางชนิดนี้มีผลให้วัสดุมีความแข็งผิวต่ำ ความคงทนในการใช้จึงเป็นสิ่งที่จะต้องตระหนักถึง และมีความจำเป็นต้องหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สารเคลือบจะมีทั้งสมบัติการละลายน้ำต่ำและมีความแข็งผิวที่ไม่ต่ำจนเป็นปัญหาต่อการใช้ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบทั้ง 3 สูตร ที่มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงสุดของแต่ละกลุ่มตัวเจือจาง ทำให้มีแผนการเตรียมสูตรสารเคลือบสำหรับการทดสอบและคัดเลือกในขั้นต่อไปจำนวน 4 สูตร คือ

1. DU-DMA 1.0_GDA 0.3_TEGDMA 1.0
2. DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5
3. DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75
4. DU-DMA 1.0_GDA 0.1_DEGME-MA 1.0

3. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 3

การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 3 เป็นการทดสอบผลของเรซินฐานและปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ ที่มีต่อสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ การศึกษานี้ใช้เรซินฐานจำนวน 4 สูตร ที่มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 25 และผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ 4 ระดับความเข้มข้น คือ 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเรซิน ใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา คือ แคมฟอร์ควิโนน และไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักเรซิน ทำให้มีสูตรเคลือบสำหรับการทดสอบจำนวน 16 สูตร โดยเตรียมขึ้นตัวอย่างรูปเหรียญตามวิธีในหัวข้อ 3.2 ของบทที่ 3 สูตรละ 20 ชิ้น สำหรับทดสอบการปลดปล่อยฟลูออไรด์เพียงอย่างเดียว เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 25 ส่วนประกอบของเรซินฐาน สำหรับการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 3

สูตร	มอนอเมอร์ฐาน (mol)		ตัวจือจาง (mol)	
	DU-DMA	GDA	TEGDMA	DEGME-MA
1	1.0	0.3	1.00	X
2	1.0	0.1	0.50	0.50
3	1.0	0.1	0.25	0.75
4	1.0	0.1	X	1.00

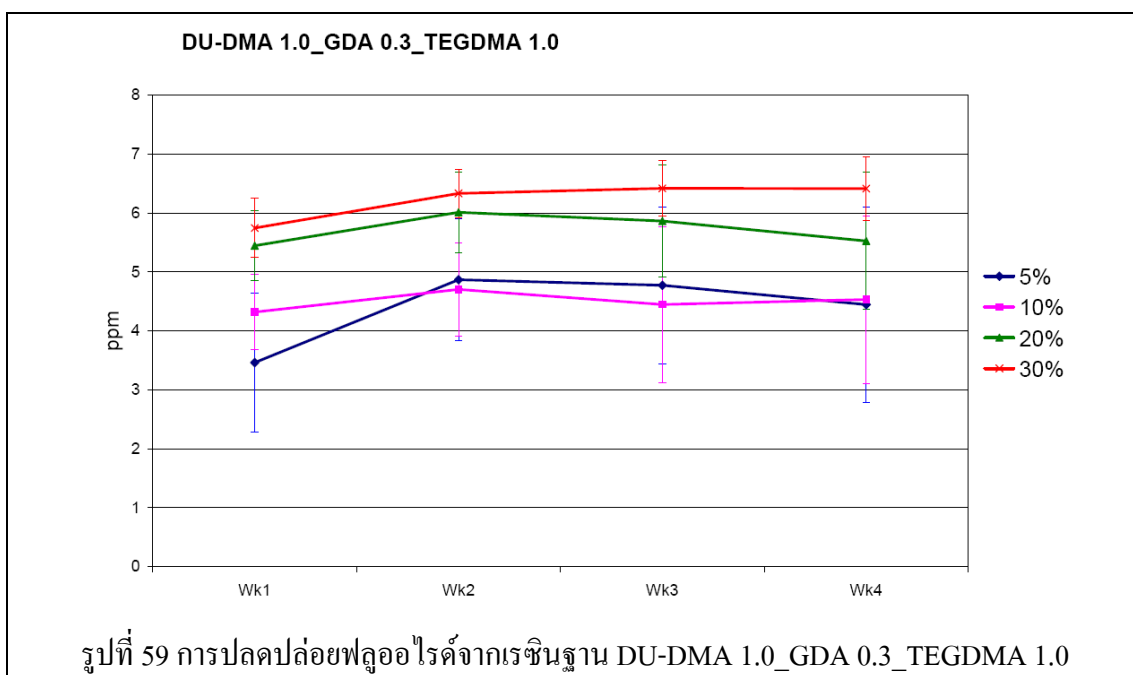
จากการติดตามการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ทั้ง 16 สูตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณฟลูออไรด์ที่ตรวจพบในน้ำแช่ขึ้นตัวอย่างสารเคลือบแต่ละสูตร มีค่าดังแสดงในตารางที่ 26 จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ที่ผสมในสูตร โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 30 ปริมาณฟลูออไรด์ที่ตรวจพบในน้ำมีค่าค่อนข้างเกาะกลุ่ม ซึ่งแตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ที่พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากสารเคลือบมีแคลเซียมฟลูออไรด์กระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่น ประกอบกับระยะทางที่ไอออนฟลูออไรด์แพร่ผ่านออกสู่ผิวลดลง และเมื่อไอออนฟลูออไรด์แพร่ออกจากวัสดุก็จะมีไอออนใหม่ปลดปล่อยออกมาแทนที่อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายน้ำต่ำ คือ 0.016 กรัม/ลิตร ที่ 18 องศาเซลเซียส และปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้สูงสุดเพียง 8 พีพีเอ็ม รวมทั้งการปลดปล่อยควบคุมด้วยการะบวนการแพร่ผ่าน ดังนั้นเมื่อความแตกต่างของปริมาณไอออนฟลูออไรด์ในเนื้อวัสดุกับภายนอกมีค่าสูง การปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อปริมาณไอออนฟลูออไรด์ในน้ำเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ แรงขับให้ฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกจากวัสดุก็จะลดลงเรื่อยๆ จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ในกลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 20 และ 30

ตารางที่ 26 ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยจากสารเคลือบ ในการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 3

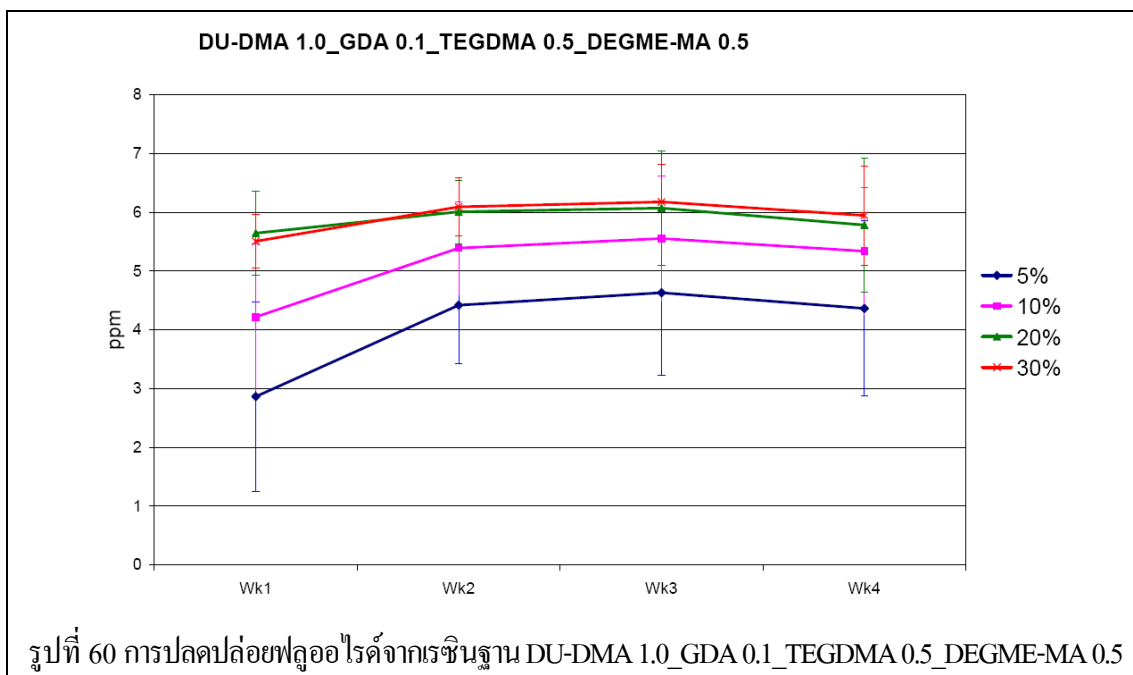
สูตร	มอนอเมอร์ฐาน (mol)		ตัวเชื่อมขวาง (mol)		CaF ₂	Week			
	DU-DMA	GDA	TEGDMA	DEGME-MA		1	2	3	4
1	1.0	0.3	1.00	X	5	3.46±1.17	4.87±1.03	4.77±1.13	4.44±1.66
2	1.0	0.1	0.50	0.50	5	2.86±1.61	4.42±0.99	4.63±1.41	4.36±1.49
3	1.0	0.1	0.25	0.75	5	3.47±1.71	4.35±1.23	4.50±1.43	5.02±1.12
4	1.0	0.1	X	1.00	5	3.33±1.46	4.09±1.28	4.64±1.11	4.61±1.31
5	1.0	0.3	1.00	X	10	4.32±0.64	4.70±0.79	4.45±1.32	4.53±1.42
6	1.0	0.1	0.50	0.50	10	4.22±1.25	5.39±0.79	5.55±1.07	5.34±1.08
7	1.0	0.1	0.25	0.75	10	4.88±0.62	5.45±0.87	5.18±1.19	5.51±1.16
8	1.0	0.1	X	1.00	10	4.47±0.82	4.63±1.17	4.52±1.56	4.64±1.76
9	1.0	0.3	1.00	0	20	5.44±0.59	6.01±0.69	5.86±0.95	5.52±1.16
10	1.0	0.1	0.50	0.50	20	5.64±0.71	6.01±0.54	6.07±0.97	5.78±1.14
11	1.0	0.1	0.25	0.75	20	5.04±0.64	5.99±0.80	6.04±1.12	6.01±1.22
12	1.0	0.1	X	1.00	20	5.48±0.51	6.23±0.65	6.26±0.89	5.96±1.08
13	1.0	0.3	1.00	X	30	5.74±0.50	6.33±0.41	6.42±0.47	6.41±0.54
14	1.0	0.1	0.50	0.50	30	5.51±0.46	6.09±0.50	6.18±0.64	5.94±0.85
15	1.0	0.1	0.25	0.75	30	5.73±0.49	6.30±0.55	6.49±0.52	6.23±0.64
16	1.0	0.1	X	1.00	30	5.55±0.54	6.50±0.53	6.74±0.57	6.55±0.76

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เป็นผลจากเรซินฐาน และ ปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ จึงนำข้อมูลมาเขียนเป็นกราฟเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ฟลูออไรด์กับเวลา โดยจำแนกเป็น 2 ลักษณะ คือ จัดกลุ่มตามชนิดเรซินฐาน และตามปริมาณ แคลเซียมฟลูออไรด์

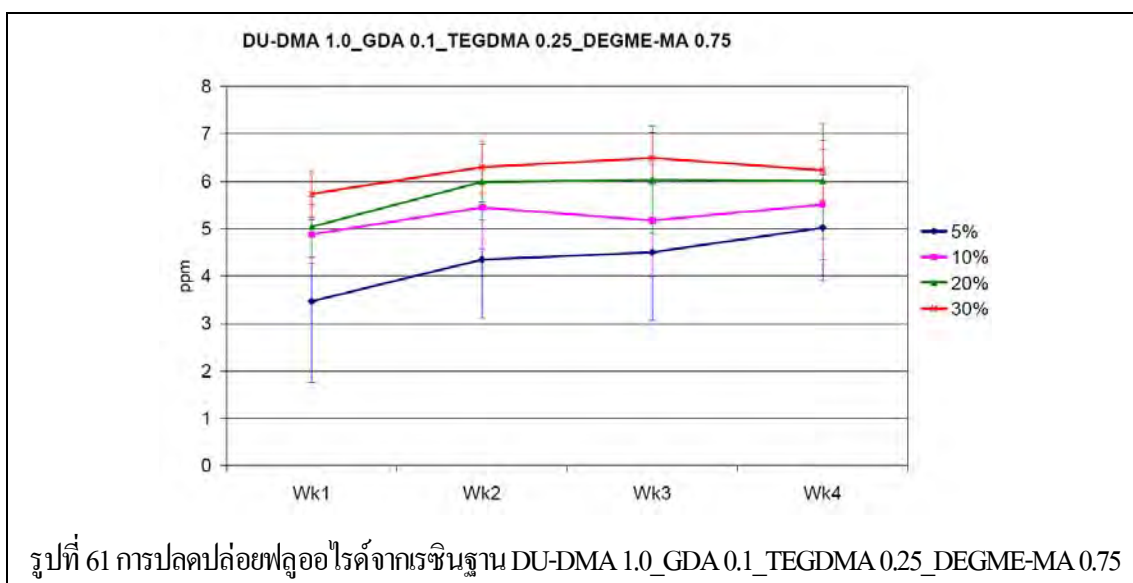
เมื่อพิจารณาข้อมูลการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ได้จำแนกกลุ่มตามชนิดของเรซิน ฐาน จะเห็นได้ว่า เรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.3_TEGDMA 1.0 ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ ร้อยละ 10, 20 และ 30 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ค่อนข้างคงที่ โดยสูตรที่ผสมแคลเซียม ฟลูออไรด์ร้อยละ 5 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในสัปดาห์แรกต่ำจากนั้นจึงเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 2 และมีค่าใกล้เคียงกับสูตรผสมร้อยละ 10 ดังแสดงในรูปที่ 59



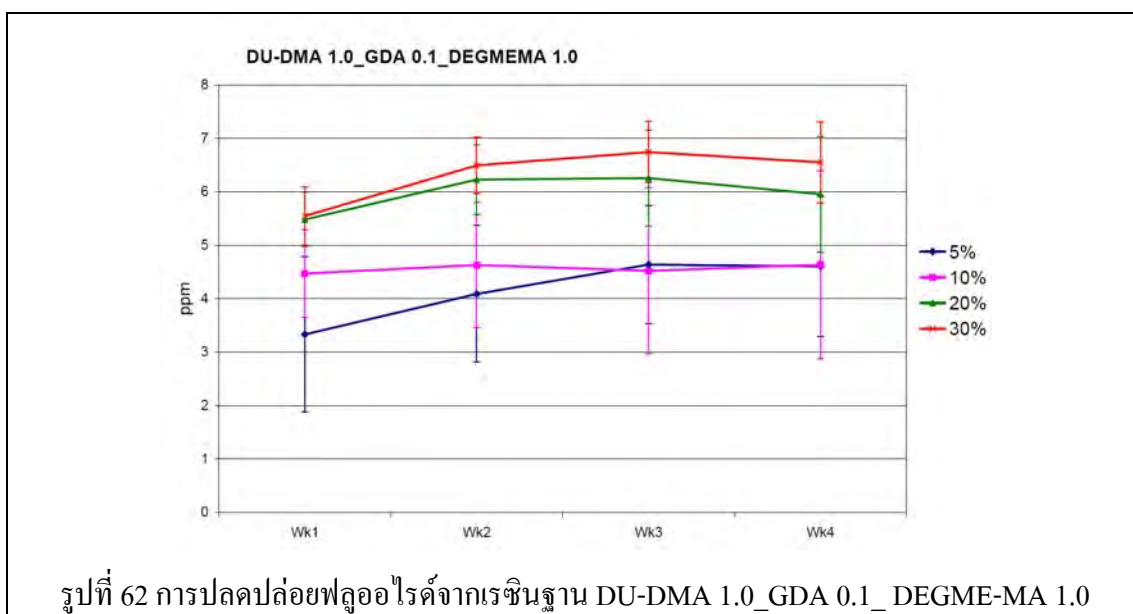
เรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5 และ 10 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในสัปดาห์แรกต่ำ จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่สองแล้วจึงเริ่มคงที่ โดยสูตรที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 20 และ 30 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 60



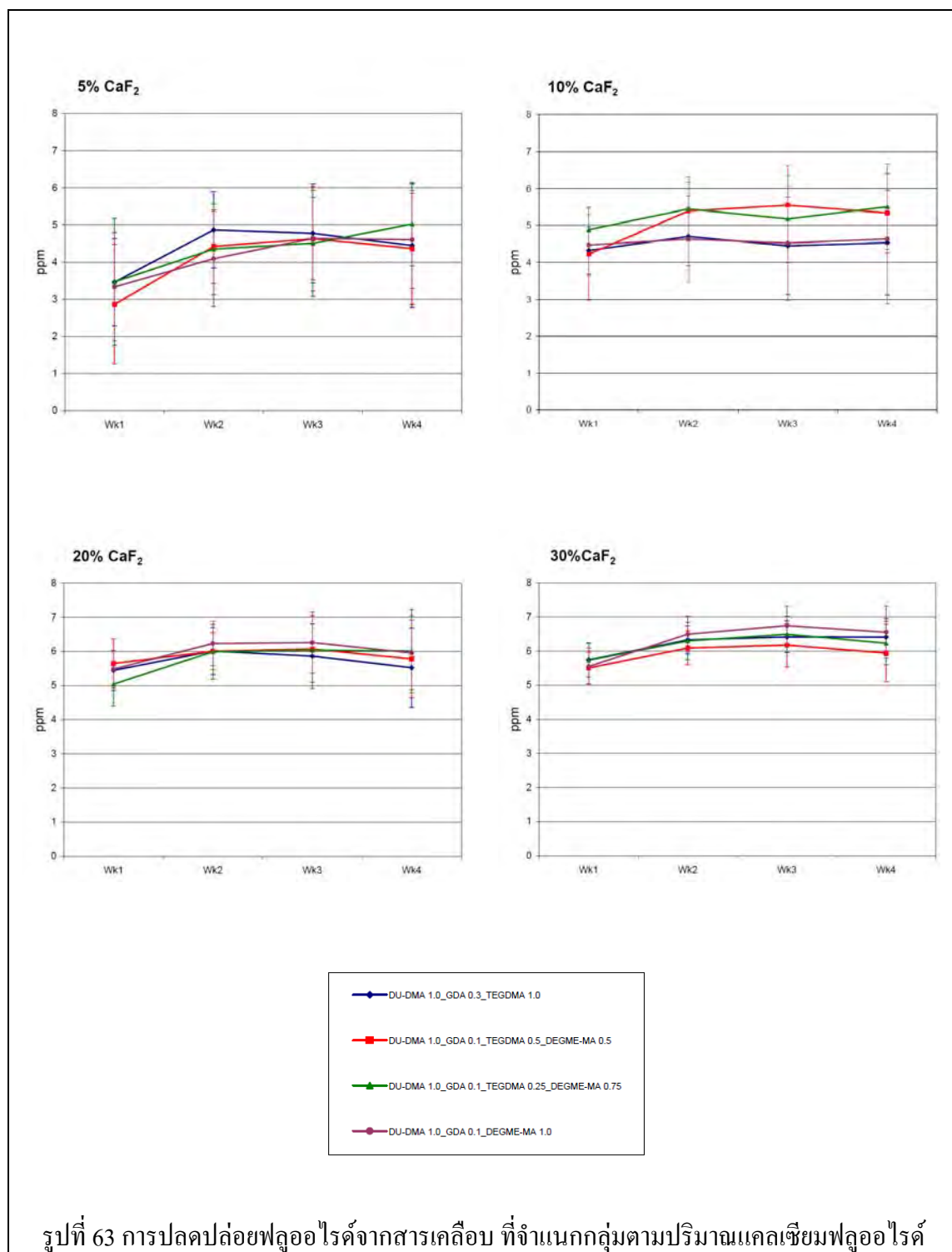
เรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 10, 20 และ 30 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ก่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ที่ศึกษา โดยสูตรที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอด 4 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 61



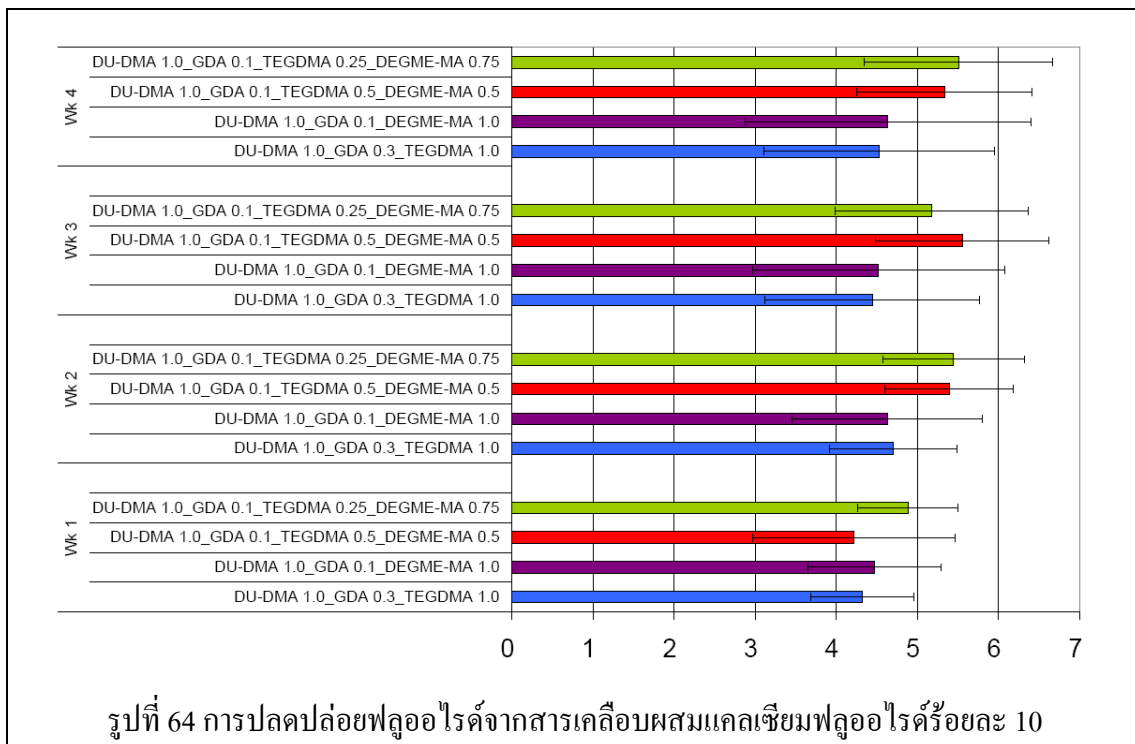
เรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_DEGME-MA 1.0 ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 10 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ขณะที่สูตรผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5, 20 และ 30 มีการปลดปล่อยในสัปดาห์แรกต่ำจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 แล้วจึงเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 62



ภาพความแตกต่างของการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เป็นผลมาจากเรซินฐานแสดงให้ให้เห็นอย่างชัดเจนในสูตรที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ดังแสดงในรูปที่ 63



โดย DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 และ DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูง ส่วน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_DEGME-MA 1.0 และ DU-DMA 1.0_GDA 0.3_TEGDMA 1.0 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 64



รูปที่ 64 การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 10

3.1. ผลการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 3

จากการทดสอบการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบข้างต้น พบว่า DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.5_DEGME-MA 0.5 และ DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 เป็นเรซินฐานที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อกลับไปพิจารณาข้อมูลในการคัดเลือกสูตรขั้นที่ 2 ที่พบว่า ตัวเจือจาง DEGME-MA ทำให้วัสดุมีการละลายน้ำต่ำกว่า TEGDMA ซึ่งการละลายน้ำนี้แสดงถึงการสูญเสียส่วนประกอบของสารเคลือบที่อาจจะ เป็น มอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ รวมทั้งฟลูออไรด์ แต่เนื่องจากทุกสูตรมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ได้ข้อสรุปว่า DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 เป็นเรซินฐานที่ได้รับการคัดเลือกสำหรับศึกษาในขั้นต่อไป

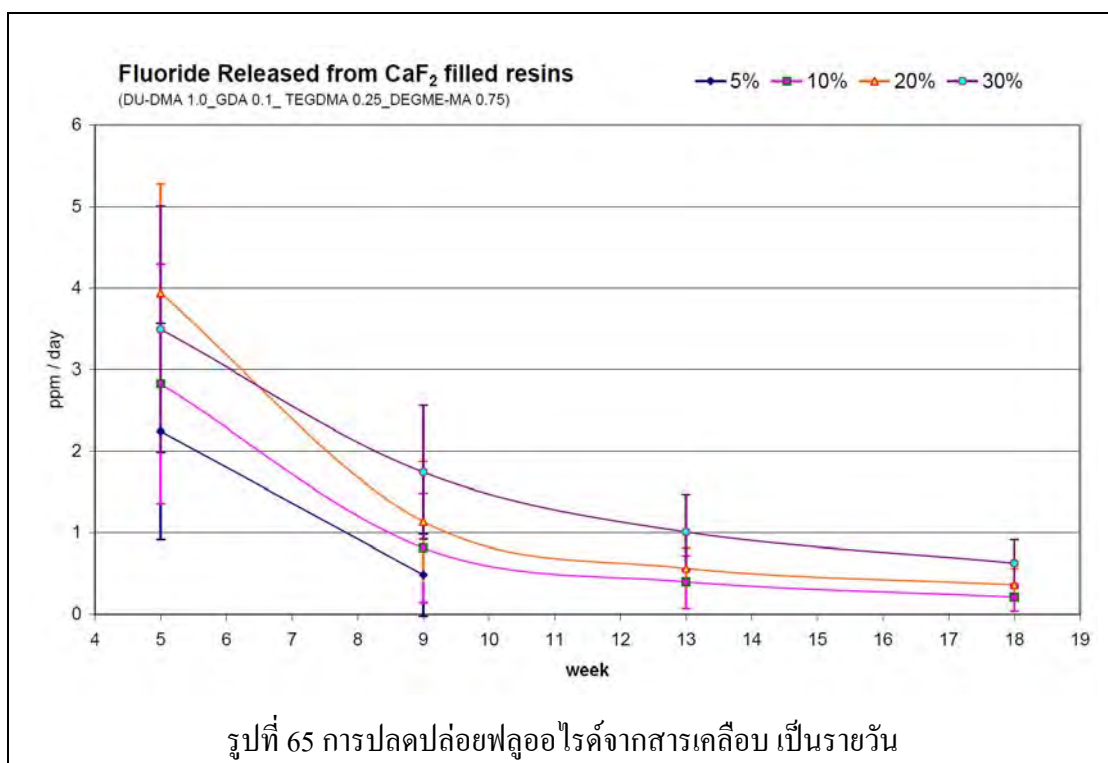
4. การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 4

การคัดเลือกสูตรสารเคลือบชั้นที่ 4 เป็นการทดสอบการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากเรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 ทั้ง 4 กลุ่ม คือ ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30 โดยใช้ตัวอย่างเดิมที่ศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์มาแล้ว 4 สัปดาห์ ในการคัดเลือกสูตรชั้นที่ 3 และได้ติดตามการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในแต่ละวันต่อเนื่องกัน 4 วัน ในสัปดาห์ที่ 5, 9, 13 และ 18 แล้วใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับเป็นตัวแทนการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของตัวอย่างชิ้นนั้นๆ อย่างไรก็ตามในสัปดาห์ที่ 9 พบว่า การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากกลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5 มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มว่าจะลดต่ำลงเรื่อยๆ จนอาจไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุในระยะยาว จึงนำตัวอย่างกลุ่มนี้ไปทดสอบการประจุฟลูออไรด์

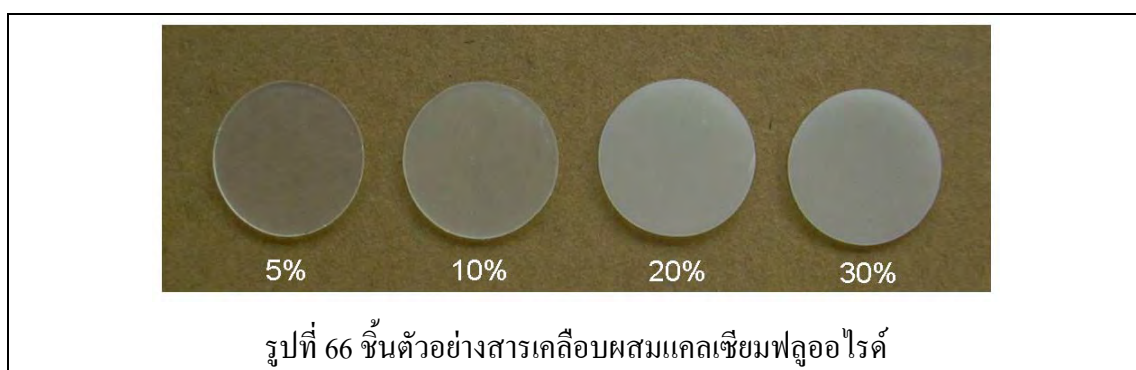
จากข้อมูลในตารางที่ 27 และกราฟเส้นในรูปที่ 65 จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์มีค่าลดลงตามเวลา โดยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 การเปลี่ยนแปลงเริ่มน้อยลงเรื่อยๆ และ ณ สัปดาห์ที่ 18 สารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 30, 20 และ 10 มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาปริมาณ 0.63 ± 0.28 , 0.36 ± 0.20 และ 0.21 ± 0.16 พีพีเอ็มตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ต้องการสำหรับการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุในเคลือบฟันปกติ คือ 0.19 พีพีเอ็ม^[23] จะเห็นได้ว่าสารเคลือบทั้ง 3 สูตรนี้สามารถป้องกันฟันผุในเคลือบฟันปกติได้ แต่ในกรณีที่ฟันมีการสูญเสียแร่ธาตุอยู่แล้วจะต้องใช้ฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงกว่านี้ จึงจะสามารถยับยั้งการพัฒนาของรอยโรคฟันผุได้ ในกรณีเช่นนี้อาจจำเป็นต้องพิจารณาใช้แคลเซียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีไป

ตารางที่ 27 การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบในแต่ละวัน

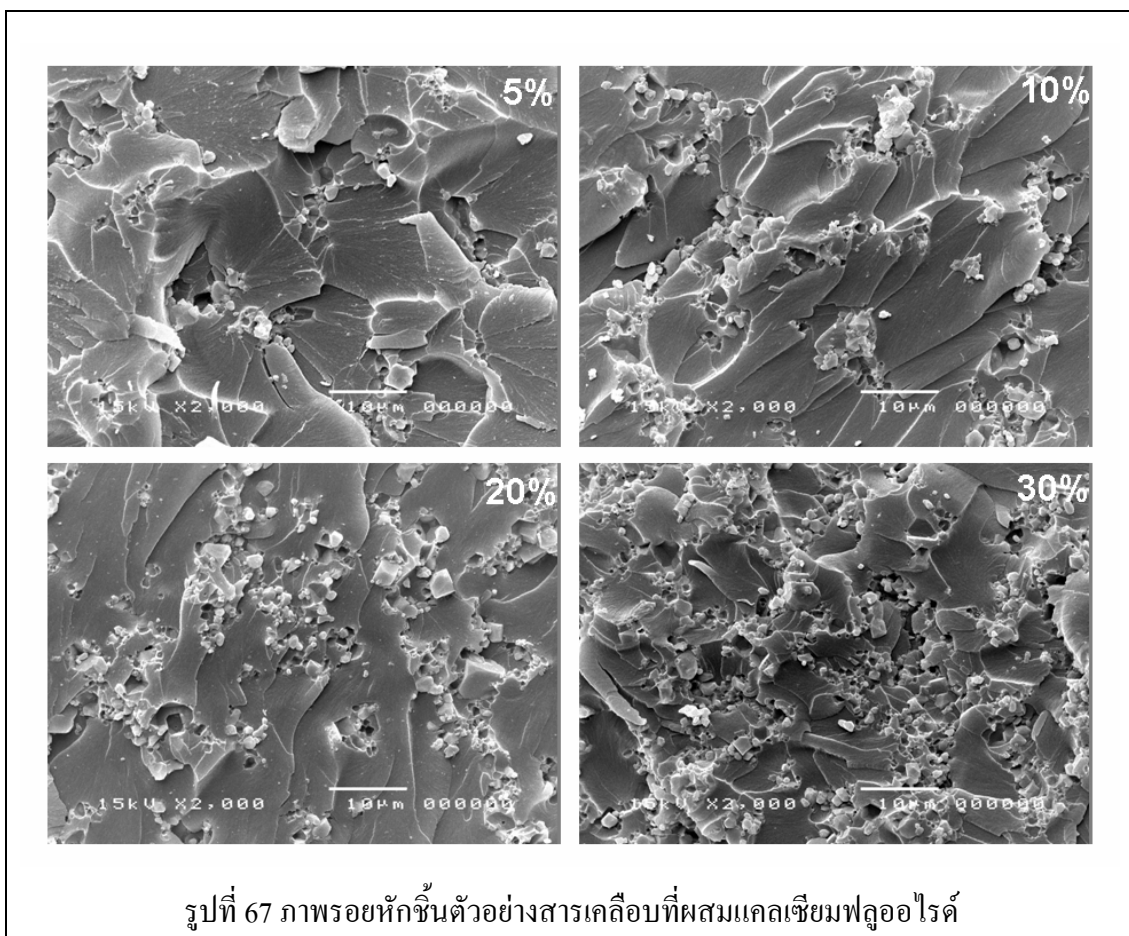
แคลเซียมฟลูออไรด์ (% โดยน้ำหนักเรซินฐาน)	การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบในแต่ละวัน ที่วัด ณ สัปดาห์ต่างๆ (พีพีเอ็ม)			
	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 13	สัปดาห์ที่ 18
5	2.24±1.33	0.48±0.51	X	X
10	2.83±1.38	0.81±0.67	0.40±0.32	0.21±0.16
20	3.94±1.34	1.14±0.74	0.56±0.25	0.36±0.20
30	3.50±1.51	1.74±0.82	1.01±0.46	0.63±0.28



ในครั้งนี้นอกจากจะศึกษาสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์แล้ว ยังเตรียมตัวอย่างรูปเหรียญของสารเคลือบ DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30 สำหรับทดสอบสมบัติความแข็งผิว การดูดน้ำ และการละลายน้ำ โดยเตรียมตัวอย่างสุตรละ 5 ชิ้น พบว่าชิ้นตัวอย่างมีสีขาวทึบแสง โดยความทึบแสงเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ในสูตร ดังแสดงในรูปที่ 66



เมื่อหักชิ้นตัวอย่างแล้วนำไปดูภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่า ที่ผิวของรอยหักมีหลุมเล็กๆ ปรากฏอยู่โดยทั่ว และความหนาแน่นของหลุมเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟลูออไรด์ที่ผสมในสูตร ดังแสดงในรูปที่ 67 และเมื่อดูภาพที่ กำลังขยายสูงขึ้นไป 5,000 เท่า จะเห็นได้ว่าหลุมนั้นเป็นที่อยู่ของผงแคลเซียมฟลูออไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 68

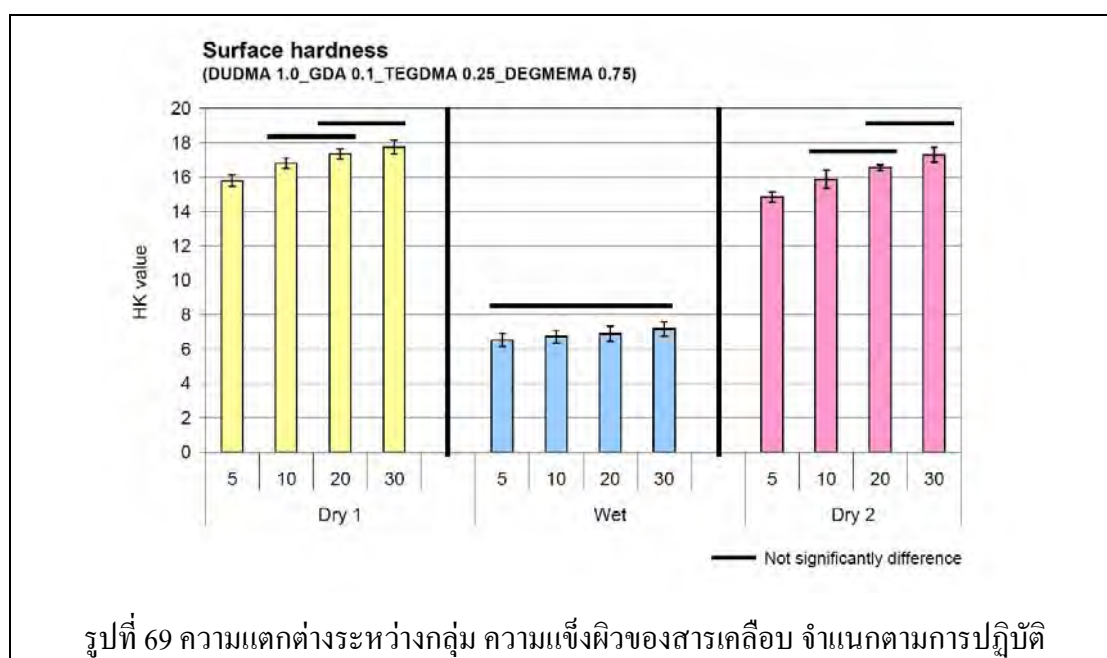


จากการทดสอบความแข็งผิวทั้งในสถานะแห้งและเปียก พบว่า ความแข็งผิวของขึ้นตัวอย่างขณะแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ที่ผสมในสูตร แต่เมื่อนำไปแช่น้ำ 4 สัปดาห์ พบว่า สารเคลือบมีความแข็งผิวลดลงมากกว่าร้อยละ 50 และเมื่อทำให้กลับมามีค่าแห้งอีกครั้งพบว่าความแข็งผิวเพิ่มสูงขึ้นจนเกือบเท่ากับตอนแรก ดังแสดงในตารางที่ 28 และรูปที่ 69 การที่วัสดุมีความแข็งผิวขณะเปียกต่ำนี้ถือว่าเป็นข้อดี เนื่องจากขณะใส่ฟันเทียมสารเคลือบจะเป็นส่วนที่ถูกบิบให้แนบสนิทไปกับผิวฟัน จึงไม่เกิดการผลึกฟัน

ตารางที่ 28 ความแข็งผิวของสารเคลือบ ที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30

แคลเซียมฟลูออไรด์ (% โดยน้ำหนักเรซินฐาน)	ความแข็งผิว (HK)		
	ขณะแห้งก่อนแช่น้ำ (Dry 1)	ขณะเปียก (Wet)	ขณะแห้งหลังแช่น้ำ (Dry 2)
5	15.8±0.3	6.5±0.4	14.8±0.3
10	16.8±0.3	6.7±0.4	15.9±0.5
20	17.4±0.3	6.9±0.4	16.5±0.2
30	17.7±0.4	7.2±0.4	17.3±0.4

เพื่อให้เห็นความแตกต่างที่เป็นผลจากปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ในสูตร จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่าปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์มีผลให้สารเคลือบมีความแข็งผิวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะขณะแห้งเท่านั้น โดยสูตรที่มีแคลเซียมฟลูออไรด์ผสมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 5 มีความแข็งผิวต่ำสุดและแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 69 จึงกล่าวได้ว่าแคลเซียมฟลูออไรด์ทำหน้าที่ทั้งเป็นสารเสริมความแข็งแรงและแหล่งฟลูออไรด์

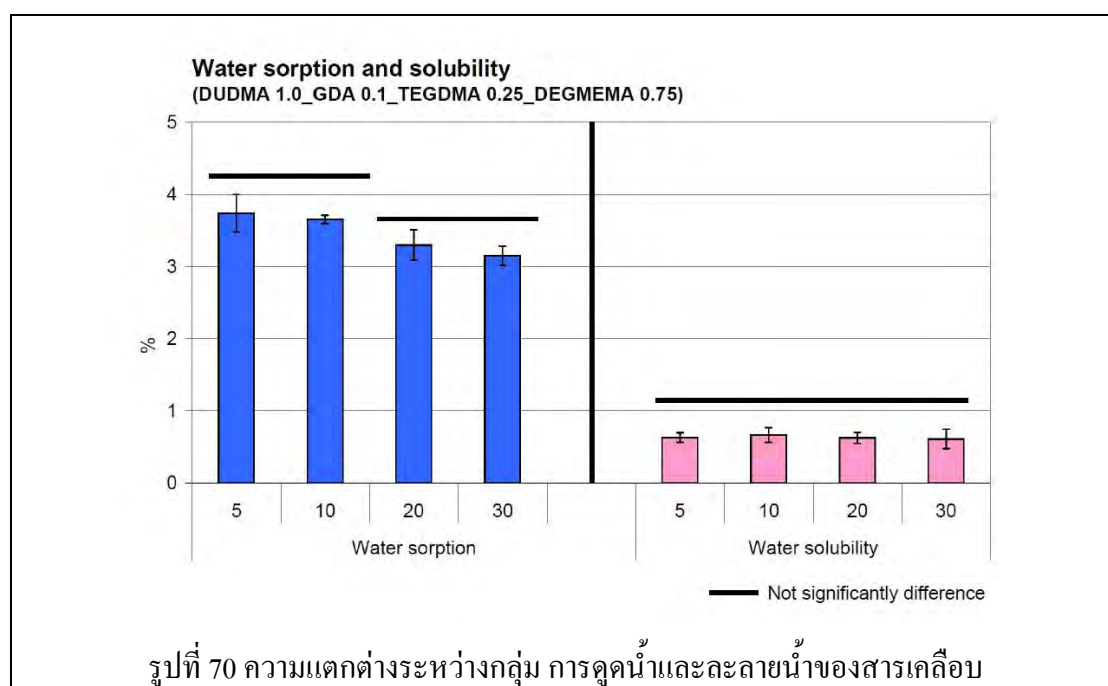


จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่เป็นผลจากการแช่น้ำ 4 สัปดาห์ ทั้งในส่วนของน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง พบว่าสารเคลือบมีการดูดน้ำลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ในสูตรเพิ่มขึ้น แต่การละลายน้ำกลับมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 29 และรูปที่ 70

ตารางที่ 29 การดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบที่ผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5, 10, 20 และ 30

แคลเซียมฟลูออไรด์ (%)	ร้อยละการดูดน้ำ	ร้อยละการละลายน้ำ
5	3.73±0.26	0.63±0.07
10	3.65±0.06	0.67±0.11
20	3.30±0.21	0.63±0.08
30	3.15±0.13	0.61±0.13

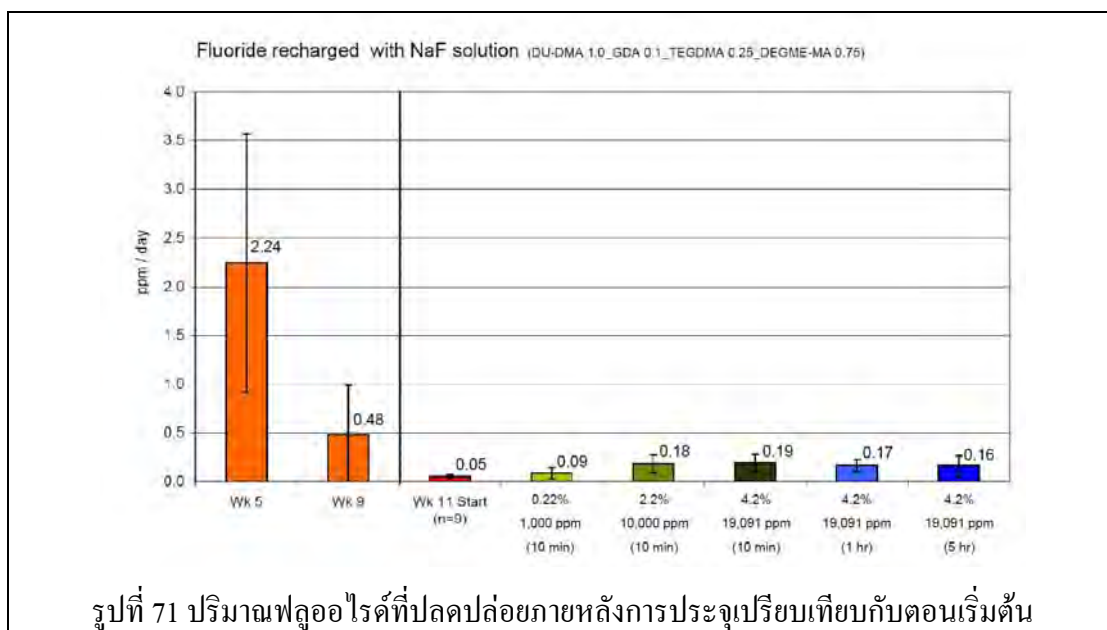
เพื่อให้เห็นความแตกต่างที่เป็นผลจากปริมาณแคลเซียมฟลูออไรด์ในสูตร จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทามฮาน พบว่า การดูดน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 และระหว่างความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 30 สำหรับการละลายน้ำนั้นไม่พบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 70 จึงกล่าวได้ว่าเรซินเป็นส่วนประกอบที่มีผลต่อการดูดน้ำและละลายน้ำของสารเคลือบ และสาเหตุที่วัสดุมีการดูดน้ำลดลงเมื่อมีแคลเซียมฟลูออไรด์ผสมอยู่ในสูตรมากขึ้นนั้นก็เนื่องมาจากสารเคลือบมีส่วนของเรซินลดลง



5. การประจุฟลูออไรด์

การประจุฟลูออไรด์เป็นวิธีการปฏิบัติเพื่อให้วัสดุคืนสภาพมาที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่สูงเหมือนกับตอนเริ่มต้น การศึกษานี้นิยมทำในวัสดุบูรณะฟัน สารเคลือบหลุมร่องฟัน และสารยึดแบร็กเก็ตในงานจัดฟัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดระยะเวลาการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุให้ยาวนานขึ้นและผลที่ได้ตามมาคือการคงประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุ การศึกษาการประจุฟลูออไรด์สู่สารเคลือบ ทำในตัวอย่างจำนวน 9 ชิ้น จากกลุ่มผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 5 ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์หลังสัปดาห์ที่ 9 ต่ำ (วันละ 0.05 ± 0.02 พีพีเอ็ม)

การประจุใช้สารละลายที่เตรียมจากโซเดียมฟลูออไรด์ซึ่งนิยมใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาบ้วนปาก ยาสีฟัน และ ฟลูออไรด์เจลและวานิช โดยในครั้งแรกได้เตรียมโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.22 (มีไอออนฟลูออไรด์ประมาณ 1,000 พีพีเอ็ม) ซึ่งเป็นปริมาณที่ผสมในยาสีฟันโดยทั่วไป และใช้เวลาแช่ 10 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่แนะนำสำหรับการแช่ฟันเทียมในน้ำยาทำความสะอาดโดยทั่วไป ภายหลังจากการประจุ พบว่า มีฟลูออไรด์ปลดปล่อยจากวัสดุเพียง 0.09 ± 0.05 พีพีเอ็ม ครั้งต่อมาจึงเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์เป็น ร้อยละ 2.2 และ 4.2 (มีไอออนฟลูออไรด์ประมาณ 10,000 และ 19,091 พีพีเอ็ม) และใช้เวลาแช่ 10 นาที ผลที่ได้คือ ภายหลังจากประจุมีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกจากวัสดุเพิ่มขึ้นแต่มีค่าเพียง 0.18 ± 0.09 และ 0.19 ± 0.08 พีพีเอ็ม เท่านั้น และแม้ว่าจะเพิ่มเวลาแช่ขึ้นตัวอย่างในสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 4.2 ให้นานขึ้นถึง 5 ชั่วโมง แต่ก็พบว่ามีฟลูออไรด์ปลดปล่อยออกมาเพียง 0.16 ± 0.10 พีพีเอ็มเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 71



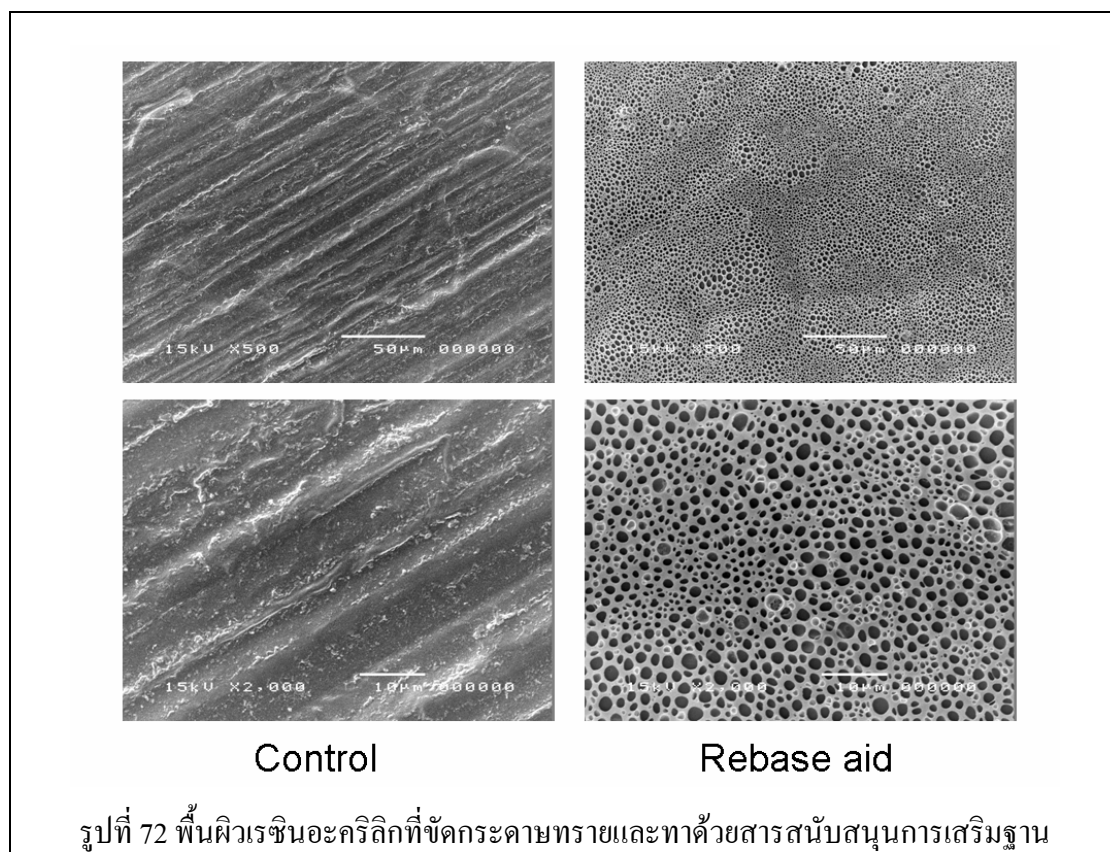
รูปที่ 71 ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยภายหลังจากการประจุเปรียบเทียบกับตอนเริ่มต้น

จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าการประจุฟลูออไรด์สู่สารเคลือบสามารถทำได้ แต่ไม่สามารถทำให้วัสดุกลับมาเกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้เท่ากับตอนเริ่มต้นได้ เมื่อประเมินประโยชน์ที่ได้รับเปรียบเทียบกับเวลาและค่าใช้จ่ายในการการประจุ รวมทั้งผลเสียที่อาจมีต่อฟันเทียมทั้งชิ้นที่ต้องแช่ในสารละลายฟลูออไรด์ทุกวัน และอันตรายที่เกิดขึ้นหากมีการพลั่งผลอดั่มสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงที่ทำให้ถึงตายได้โดยเฉพาะในเด็กเล็กและคนชราที่มีปัญหาทางสุขภาพ

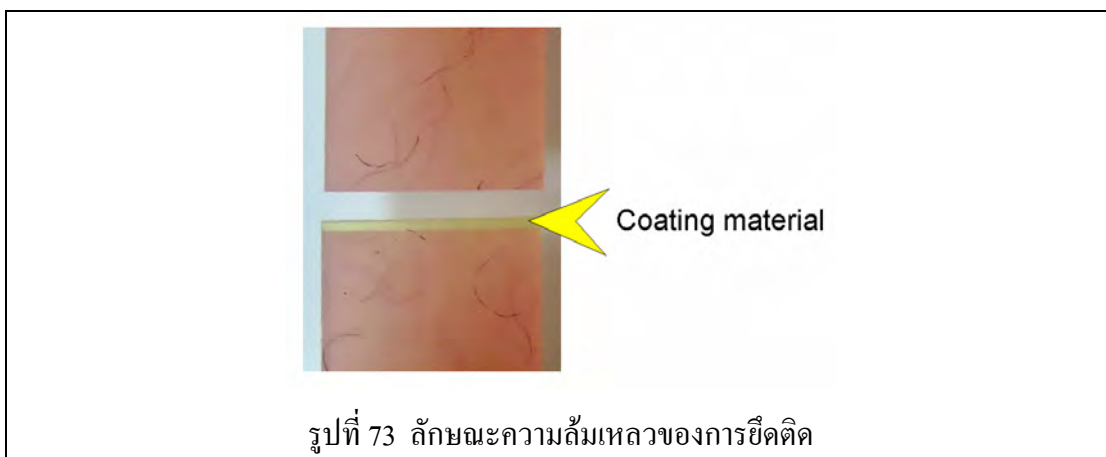
การเคลือบเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติที่พื้นผิวของวัสดุ การเคลือบสามารถทำซ้ำได้บ่อยครั้งตามต้องการ และทุกครั้งที่เกิดเคลือบก็จะได้ผิวใหม่ที่มีคุณภาพดีเสมอ การประจุฟลูออไรด์กลับอาจมีความจำเป็นสำหรับวัสดุบูรณะฟันเนื่องจากเป็นวัสดุที่ติดอยู่ที่ฟันอย่างถาวร และในทางปฏิบัติไม่สามารถเปลี่ยนใหม่ได้บ่อยๆ แต่สารเคลือบผิวฟันเทียมไม่ได้ติดขัดในประเด็นดังกล่าวซ้ำยังได้ประโยชน์หลายประการจากการเคลือบใหม่อีกด้วย การประจุฟลูออไรด์จึงไม่ใช่สมบัติสำคัญ

6. การยึดติดของสารเคลือบกับเรซินอะคริลิก

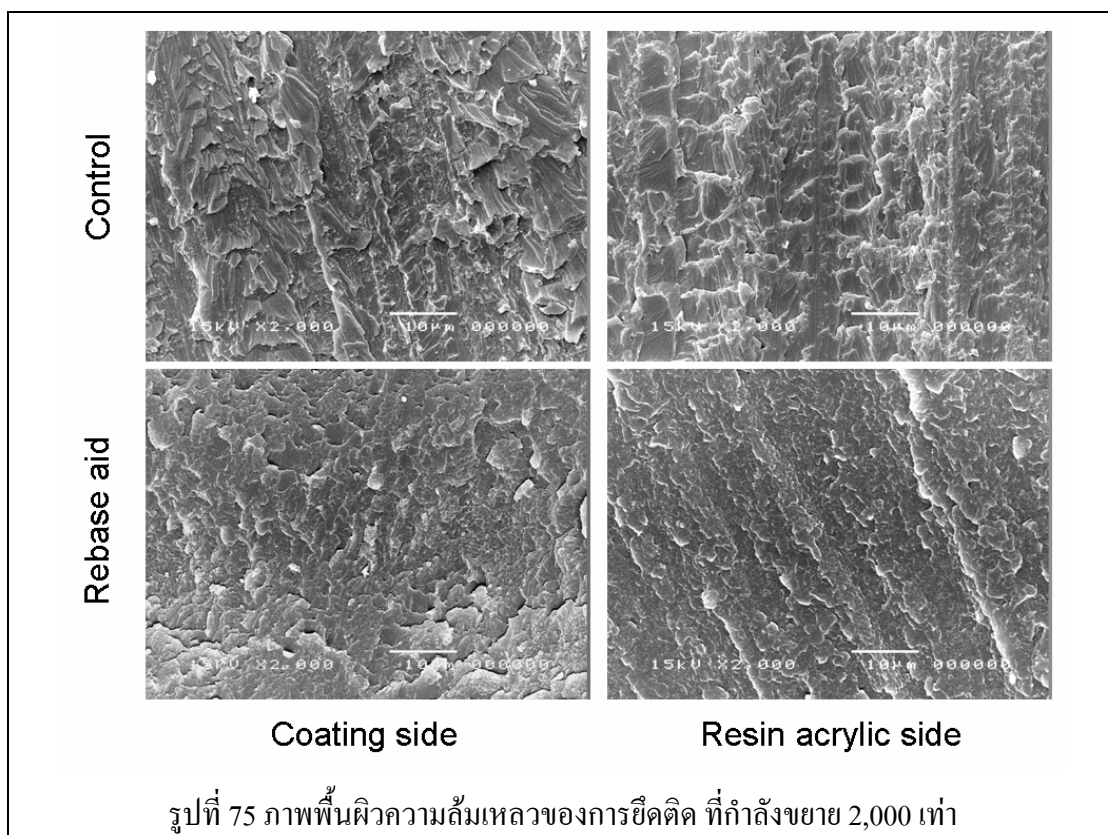
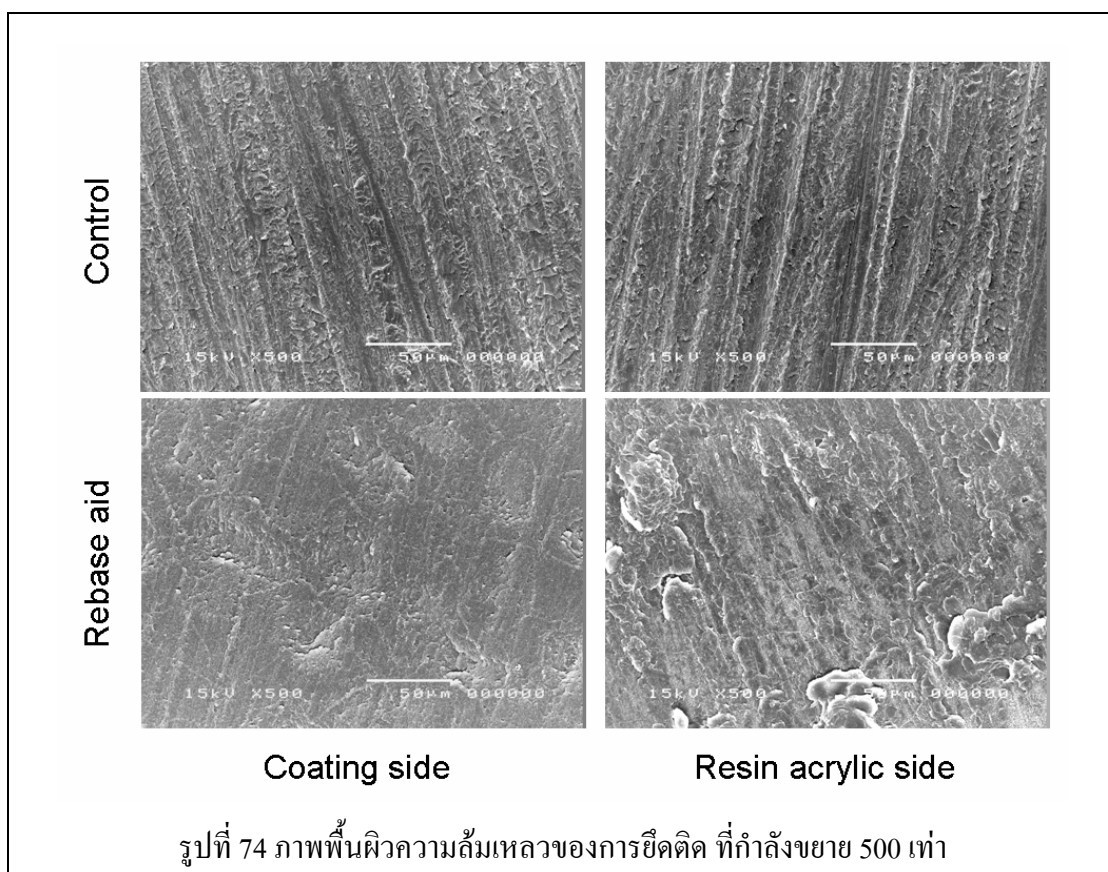
การยึดติดของสารเคลือบกับฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิกเป็นสมบัติสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเป็นสารเคลือบ จากการทดสอบความต้านแรงดึงการยึดติดของชิ้นงานเรซินอะคริลิกที่ยึดกันแบบชนโดยใช้เรซินฐาน DU-DMA 1.0_GDA 0.1_TEGDMA 0.25_DEGME-MA 0.75 พบว่า มีค่าเพียง 12.90 ± 2.73 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ประกอบกับชิ้นงานที่นำมายึดหลุดออกจากกันได้ค่อนข้างง่ายจึงพิจารณาใช้สารสนับสนุนการเสริมฐาน (Rebase aid) ซึ่งมีส่วนประกอบ คือ เมทิลีนคลอไรด์ (methylene chloride) ทาที่ผิวเรซินอะคริลิกก่อนการยึด พบว่าทำให้ค่าความต้านแรงดึงของการยึดติดเพิ่มขึ้นเป็น 18.55 ± 2.91 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้ความต้านแรงดึงเพิ่มสูงขึ้นจึงได้นำเรซินอะคริลิกที่ทาด้วยสารสนับสนุนการเสริมฐานมาดูด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ทา จากภาพที่กำลังขยาย 500 และ 2,000 เท่า พบว่าสารสนับสนุนการเสริมฐานทำให้ผิวเรซินอะคริลิกเกิดการเปลี่ยนแปลงจากที่มีร่องรอยขรุขระซึ่งเป็นผลจากการขัดด้วยกระดาษทราย กลายเป็นเรียบขึ้นพร้อมกับมีหลุมกลมขนาดต่างๆ กระจายอยู่โดยทั่วพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 72 จึงกล่าวได้ว่าแรงยึดติดที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลจากการแทรกซึมของสารเคลือบเข้าไปในหลุมเล็กๆ เหล่านี้



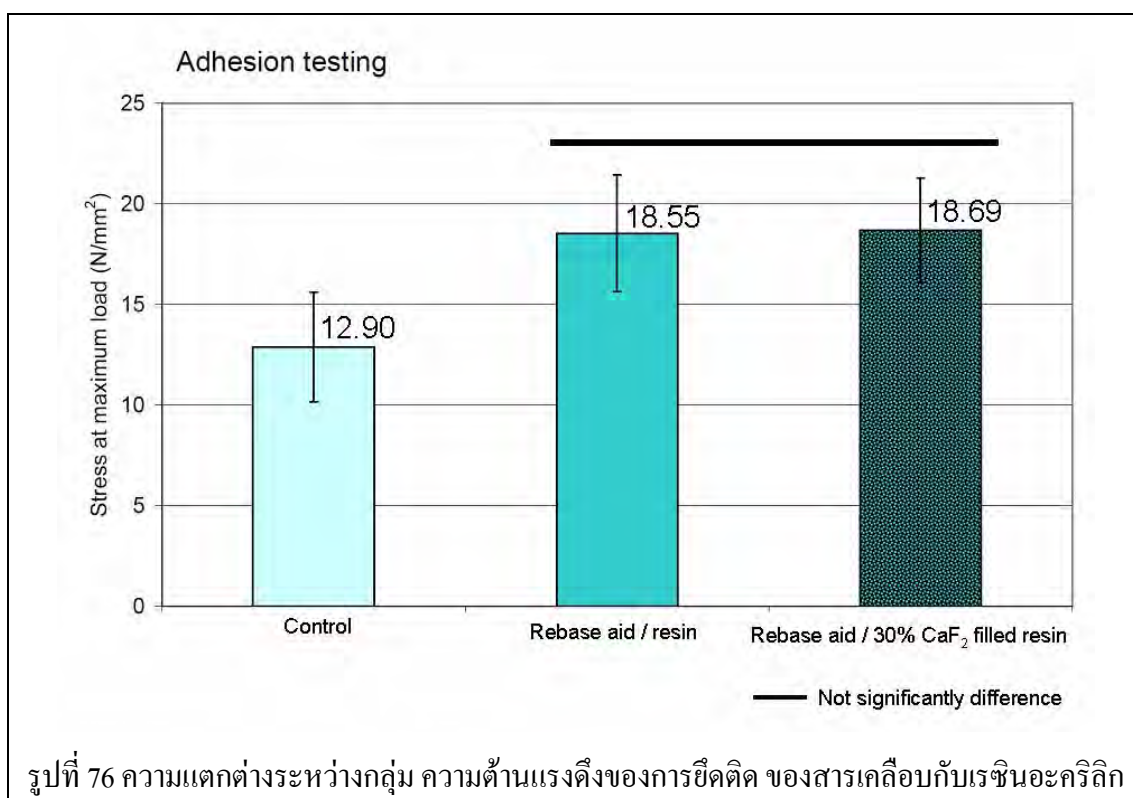
เมื่อพิจารณาความล้มเหลวของการยึดติดที่เกิดขึ้น พบว่า การหลุดเกิดขึ้นที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสารเคลือบกับเรซินอะคริลิก โดยมีสารเคลือบติดอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของเรซินอะคริลิก ดังแสดงในรูปที่ 73 ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจึงน่าจะเป็นความล้มเหลวแบบยึดติด (adhesive failure) เพื่อให้ข้อสรุปชัดเจนยิ่งขึ้นจึงใช้กล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราดคุณภาพพื้นผิวในบริเวณดังกล่าว พบว่ามีลักษณะดังรูปที่ 74 และ 75



ลักษณะพื้นผิวความล้มเหลวของการยึดติดที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารสนับสนุนการเสริมฐานทา ก่อนการยึดขึ้นงานเรซินอะคริลิกเข้าด้วยกันมีความแตกต่างกัน โดยพบว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารสนับสนุนการเสริมฐานมีบางส่วนของเรซินอะคริลิกถูกดึงและหลุดติดมากับสารเคลือบ และบางส่วนของสารเคลือบติดอยู่กับเรซินอะคริลิก จึงทำให้ผิวทั้งสองด้านมีทั้งส่วนที่ยื่นออกมาและเป็นหลุมเว้าเข้าไป การยึดของสารเคลือบจึงเป็นผลจากการแทรกซึมของสารเคลือบเข้าไปอยู่ในหลุมร่องต่างๆ ที่ผิวเรซินอะคริลิก สำหรับกลุ่มที่ทาสารสนับสนุนการเสริมฐานลงบนผิวเรซินอะคริลิกก่อนการยึดนั้น พบว่าพื้นผิวที่หลุดออกจากกันทั้งสองด้านมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ที่ซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ จึงกล่าวได้ว่าการแทรกซึมของสารเคลือบเข้าไปในหลุมเล็กๆ บนผิวเรซินอะคริลิกที่เกิดจากการทาสารสนับสนุนการเสริมฐาน ทำให้เกิดเป็นชั้นรอยต่อที่มีความแข็งแรงและทำให้ความล้มเหลวของการยึดติดเกิดขึ้นในชั้นสารเคลือบในบริเวณที่ใกล้กับผิวเรซินอะคริลิก



เนื่องจากสารเคลือบมีแคลเซียมฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ ความต้านแรงดึงของการยึดติดระหว่างสารเคลือบกับเรซินอะคริลิกจึงอาจถูกแทรกแซงโดยผลของแคลเซียมฟลูออไรด์ที่ผสมลงในสูตรปริมาณมาก จึงได้ทดสอบความต้านแรงดึงของการยึดติดของสารเคลือบผสมแคลเซียมฟลูออไรด์ร้อยละ 30 พบว่ามีค่า 18.69 ± 2.59 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรณีที่ยึดติดโดยใช้เรซินฐานดังแสดงในรูปที่ 76 โดยความต้านแรงดึงของการยึดติดที่เพิ่มสูงขึ้นภายหลังการทำผิวด้วยสารสนับสนุนการเสริมฐานนี้มีค่าใกล้เคียงกับการยึดติดของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยสารเคมีกับชนิดบ่มด้วยความร้อนซึ่งมีค่า 19-20 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร^[95] อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการให้มีการยึดติดที่สูงกว่านี้อาจจำเป็นต้องหาสารสนับสนุนการเสริมฐานให้มากขึ้น



บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า สูตรสารเคลือบผิวฐานฟันเทียมที่มีสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไปจนกระทั่งสามารถใช้ได้จริง มีส่วนประกอบ คือ

1. ส่วนเรซินประกอบด้วยมอนอเมอร์ 4 ชนิด คือ ไดยูรีเทนไดเมทาคริเลต (Diurethane dimethacrylate; DU-DMA) กลีเซอรอล 1, 3-ไดกลีเซอโรลไดอะคริเลตไดอะคริเลต (Glycerol 1,3-diglycerolate diacrylate; GDA) ไตรเอทิลีนกลีคอลไดเมทาคริเลต (Triethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) และ ไดเอทิลีนกลีคอลเมทิลอีเทอร์เมทาคริเลต Di (ethylene glycol) methyl ether methacrylate; DEGME-MA) ที่ผสมด้วยสัดส่วน 1.0: 0.1: 0.25: 0.75 โดยโมล
2. สารแทรกและแหล่งฟลูออไรด์ คือ แคลเซียมฟลูออไรด์ ที่ผสมด้วยสัดส่วนร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักเรซิน
3. สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง คือ แคมฟอร์ควิโนน (Camphorquinone: CQ) และ ไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate: DMAEMA) ที่ผสมด้วยสัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักเรซิน

ผลิตภัณฑ์เตรียมขึ้นในรูป 2 ส่วน คือผงแคลเซียมฟลูออไรด์ และเรซินเหลวที่ผสมสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ก่อนใช้ให้ผสมทั้งสองส่วนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทาลงบนฐานฟันเทียมที่ปรับสภาพผิวด้วยสารสนับสนุนการเสริมฐาน แล้วนำเข้าตู้บ่มด้วยแสง 5-10 นาที เพื่อให้วัสดุแข็งตัว

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการคัดเลือกสูตรเบื้องต้น โดยใช้การทดสอบสมบัติทางกายภาพบางประการ และศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์ การพัฒนาจนสามารถใช้ได้จริงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทดสอบและวิจัยอีกหลายขั้นตอน โดยมีหัวข้อการวิจัยที่ควรศึกษาต่อไป คือ

1. การศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุที่ตัวฟันในสภาวะจำลองที่มีสภาพเป็นกรด

2. การศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุที่รากฟันในสถานะจำลองที่มีสภาพเป็นกรดและเป็นกลาง
3. การศึกษาประสิทธิภาพในการส่งเสริมการกลับคืนของแร่ธาตุสู่ฟันที่มีรอยโรคฟันผุ
4. การศึกษาเปรียบเทียบการเกาะของคราบจุลินทรีย์บนผิวเรซินอะคริลิกและผิวสารเคลือบ
5. การศึกษาความหนาของสารเคลือบที่มีผลต่อความแนบสนิทของฟันเทียมกับฟัน
6. การศึกษาความทนทานต่อการสึกและการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวสารเคลือบจากการแปร่ง
7. การศึกษาผลของการแปร่งที่มีต่อการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากสารเคลือบ
8. การศึกษาความทนทานของการยึดติดของสารเคลือบกับเรซินอะคริลิกในสถานะจำลองการถอดใส่ฟันเทียม
9. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารเคลือบเมื่ออยู่ในสถานะเร่ง
10. การทดสอบความเข้ากันได้ทางชีววิทยา (biocompatibility) ของสารเคลือบ
11. การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันฟันผุของสารเคลือบทางคลินิก
12. การติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารเคลือบทางคลินิก

รายการอ้างอิง

- [1] Kidd, E. A. M. Essentials of dental caries: The disease and its management. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2005.
- [2] Selwitz, R. H.; Ismail, A. I.; and Pitts, N. B. Dental caries. Seminars 369 (2007): 51-59.
- [3] Fejerskov, O., Ekstrand, J., and Burt, B. A., eds. Fluoride in dentistry. 2nd ed. Copenhagen: Munksgaard, 1996.
- [4] Nanci, A. Ten Cate's oral histology; development, structure, and function. 6th ed. St.Louis: Mosby, 2003.
- [5] Berkovitz, B. K. B., Holland, G. R., and Moxhan, B. J. Oral anatomy, Histology and embryology. 3rd ed. St. Louis: Mosby, 2002.
- [6] Wagner, B.; and Kern, M. Clinical evaluation of removable partial dentures 10 years after insertion: success rates, hygienic problems, and technical failures. Clin. Oral Investig. 4 (2000): 74-80.
- [7] Li, W. The effects of removable partial dentures on abutment teeth in elder patients. Shanghai Kou Qiang Yi Xue 15 (2006): 276-278.
- [8] Yeung, A. L. P.; Lo, E. C. M.; Chow, T. W.; and Clark, R. K. F. Oral health status of patients 5-6 years after placement of cobalt-chromium removable partial dentures. J. Oral Rehabil. 27 (2000): 183-189.
- [9] Zlataric, D. K.; Celebic, A.; and Valentic-Peruzovic, M. The effect of removable partial dentures on periodontal health of abutment and non abutment teeth. J. Periodontol. 73 (2002): 137-144.
- [10] Jepson, N. J. A.; Moynihan, P. J.; Kelly, P. J.; Watson G. W.; and Thomason J. M. Caries incidence following restoration of shortened lower dental arches in a randomized controlled trial. Br. Dental J. 191 (2001): 140-144.
- [11] Hintao, J.; Teanpaisan, R.; Chongsuvivatwong, V.; Dahlen, G.; and Rattarasarn, C. Root surface and coronal caries in adults with type 2 diabetes millitus. Community Dent. Oral Epidemiol. 35 (2007): 302-309.
- [12] Santos, M. B. F.; Carvalho, R. M.; Santos, J. F. F.; and Marchini, L. Longitudinal study of removable partial dentures and hygiene habits. Cienc. Odontol. Bras. 10 (2007): 38-43.

- [13] Tuominen, R.; Ranta, K.; and Paunio, I. Wearing of removable partial dentures in relation to dental caries. J. Oral Rehabil. 15 (1988): 515-520.
- [14] Bergman, B.; Hugoson, A.; and Olsson, C. O. Caries and periodontal status in patients fitted with removable partial dentures. J. Clin. Periodontol. 4 (1977): 134-146.
- [15] Qudah, S. A.; and Nassrawin, N. Effect of removable partial denture on periodontal health. JRMS. 11 (2004): 17-19.
- [16] Banting, D. W. The diagnosis of root caries. The NIH consensus development conference on diagnosis and management of dental caries throughout life, Maryland, 2001.
- [17] Ettinger, R. L.; and Qian, F. Abutment tooth loss in patients with overdentures. J. Am. Dent. Assoc. 135 (2004): 739-746
- [18] Toolson, L. B.; and Smith, D. E. A 2-year longitudinal study of overdenture patients. Part I: incidence and control of caries on overdenture abutments. J. Prosthet. Dent. 40 (1978): 486-491.
- [19] Ettinger, R. L.; and Jakobsen, J. Caries: a problem in an overdenture population. Community Dent. Oral Epidemiol. 18 (1990): 42-45.
- [20] Budtz-Jorgensen, E. Prognosis of overdenture abutments in the aged: effect of denture wearing habits. Community Dent. Oral Epidemiol. 20 (1991): 302-306.
- [21] กระทรวงสาธารณสุข, กรมอนามัย. กองทันตสาธารณสุข. รายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 5. (ม.ป.ท.), 2545.
- [22] คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ, มูลนิธิสถาบันวิจัยและการพัฒนาผู้สูงอายุไทย. สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ.2550. (ม.ป.ท.), 2551.
- [23] Yamazaki, H.; Litman, A.; and Margolis, H. C. Effect of fluoride on artificial caries lesion progression and repair in human enamel: Regulation of mineral deposition and dissolution under in vivo-like conditions. Arch. Oral. Biol. 52 (2007): 110–120.
- [24] Carey, C. M.; Gove, R.; and Eichmiller, F. C. Anticaries efficacy of constant fluoride in the continuous flow model. J. Dent. Res. Special Issue A 83 (2004): 19.
- [25] Margolis, H. C.; Moreno, E. C.; and Murphy, B. J. Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization *in vitro*. J. Dent. Res. 65 (1986): 23-29.
- [26] Abrahams, L. J.; Yonese, M.; Higuchi, W. I.; Fox, J. L.; and Charbeneau, G. T. *In vivo* remineralization using a sustained topical fluoride delivery system. J. Dent. Res. 59 (1980): 583-587.

- [27] ten Cate, J. M. ;and Duijsters, P. P. E. Influence of fluoride in solution on tooth demineralization II. Microradiographic data. Caries Res. 17 (1983): 513-519.
- [28] Litovitz, T. L.; Schmitz, B. F.; and Bailey, K. M. 1989 Annual report of the American association of poison control centers national data collection system. Am. J. Emerg. Med. 8 (1990): 394-442.
- [29] Litovita, T. L.; Bailey, K. M.; Schmitz, B. F.; Holm, K. C.; and Klein-Schwartz, W. 1990 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 9 (1991): 461-509.
- [30] Litovitz, T. L.; Holm, K. C.; Bailey, K. M.; and Schmitz, B. F. 1991 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 10 (1992): 452-505.
- [31] Litovitz, T. L., et al. 1992 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 11 (1993): 494-555.
- [32] Litovitz, T. L.; Clark, L. R.; and Soloway, R. A. 1993 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 12 (1994): 546-584.
- [33] Litovitz, T. L.; Felberg, L.; Soloway, R. A.; Ford, M.; and Geller, R. 1994 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 13 (1995): 551-597.
- [34] Litovitz, T. L.; Felberg, L.; White, S.; and Klein-Schwartz, W. 1995 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 14 (1996): 487-537.
- [35] Litovitz, T. L., et al. 1996 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 16 (1997): 443-497.
- [36] Litovitz, T. L., et al. 1997 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 16 (1998): 443-497.
- [37] Litovitz, T. L., et al. 1998 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 17 (1999): 435-487.
- [38] Litovitz, T. L., et al. 1999 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 18 (2000): 618-574.

- [39] Litovitz, T. L., et al. 2000 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 19 (2001): 337-395.
- [40] Litovitz, T. L., et al. 2001 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 20 (2002): 391-452.
- [41] Watson, W. A., et al. 2002 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 21 (2003): 353-421.
- [42] Watson, W. A., et al. 2003 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 22 (2004): 335-404.
- [43] Watson, W. A., et al. 2004 Annual report of the American association of poison control centers toxic exposure surveillance system. Am. J. Emerg. Med. 23 (2005): 589-666.
- [44] Lai, M. W., et al. 2005 Annual report of the American association of poison control centers' national poisoning and exposure database. Clin. Toxicol. 44 (2006): 803-932.
- [45] Bronstein, A. C., et al. 2006 Annual report of the American association of poison control centers' national poison data system. Clin. Toxicol. 45 (2007): 815-917.
- [46] American Dental Association. Fluoridation facts. Illinois, 2005.
- [47] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พื้นที่ศักยภาพทางแร่แบไรต์-ฟลูออไรต์ [Online]. กรมทรัพยากรธรณี, (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา : <http://www.dmr.go.th/> [25 เมย. 2552].
- [48] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524. ราชกิจจานุเบกษา 157 (24 กันยายน พ.ศ.2524).
- [49] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกัน ด้านสาธารณสุข และการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ฉบับที่ 12 พ.ศ.2542. ราชกิจจานุเบกษา 7 (13 เมษายน 2542).
- [50] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง น้ำแร่ธรรมชาติ ฉบับที่ 199 พ.ศ.2543. ราชกิจจานุเบกษา 188 (24 มกราคม พ.ศ.2544).
- [51] Pessan, J.P.; Al-Ibrahim; N. S., Buzalaf M. A. R.; and Toumba, K. J. Slow-release fluoride devices: a literature review. J. Apply. Oral. Sci. 16 (2008): 238-244.
- [52] Chamber, M. S., et al. Clinical evaluation of the intraoral fluoride releasing system in radiation-induced xerostomic subjects. Part 1: Fluorides. Oral. Oncol. 42 (2006): 934-945.

- [53] Marini, I.; Pelliccioni, G. A.; Vecchiet, F.; Bonetti, G. A.; and Checchi, L. A retentive system for intra-oral fluoride release during orthodontic treatment. Eur. J. Ortho. 21 (1999): 695-701.
- [54] Marini, I.; Checchi, L.; Vecchiet, F.; and Spiazzi, L. Introral fluoride releasing device: A new clinical therapy for dentine sensitivity. J. Periodontol. 71 (2000): 90-95.
- [55] Anusavice, K. J., ed. Philips's science of dental materials. 11th ed. St. Louis: Saunders, 2003.
- [56] Wiegand, A.; Buchalla, W.; and Attin, T. Review on fluoride-releasing restorative materials-fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. Dent. Mater. 23 (2007): 343-362.
- [57] Morphis, T. L.; Toumba, K. J.; and Lygidakis, N. A. Fluoride pit and fissure sealants: A review. Int. J. Pediatr. Dent. 10 (2000): 90-98.
- [58] Nakabo, S.; Torii, Y.; Itota, T.; Yoshiyama, M.; and Ishikawa, K. Regulation of fluoride ion release from Na₂SiF₆ contained in resin based on hydrophobic siloxane layer coating. J. Oral Rehabil. 29 (2002): 675-681.
- [59] Nakabo, S.; Torii, Y.; Itota, T.; Ishikanawa, K.; and Suzuki, K. Regulation of NaF release from bis-GMA/TEGDMA resin using Y methacryloylpropyl trimethoxysilane. Dent. Mater. 18 (2003): 81-87.
- [60] Rawls, H. R. Preventive dental materials: Sustained delivery of fluoride and other therapeutic agents. Adv. Dent. Res. 5 (1991): 50-55.
- [61] Tanaka, M.; Ono, H.; Kadoma, Y.; and Imai, Y. Incorporation into human enamel of fluoride slow released from sealant *in vivo*. J. Dent. Res. 66 (1987): 1591-1593.
- [62] Innes, D. B. K.; and Youdelis, W. V. calcium fluoride in amalgam for caries prevention. J. Dent. Res. 45 (1966): 94-98.
- [63] Wilshire, W. A. Determination of fluoride from fluoride-releasing elastomeric ligature ties. Am. J. Orthod. Dentofacial Ortho. 115 (1996): 288-292.
- [64] Banks, P. A.; Chadwick, S. M.; Asher-McDade, C.; and Wright, J. L. Fluoride -releasing elastomeric-a prospective controlled clinical trial. Eur. J. Ortho. 22 (2000): 401-407.
- [65] Doherty, U. B.; Benson, P. E.; and Higham, S. M. Fluoride-releasing elastomeric ligatures assessed with the *in situ* caries model. Eur. J. Ortho. 24 (2002): 371-378.

- [66] Soliman, M. M.; Bishara, S. E.; Wefel, J.; Heilman, J.; and Warren, J. J. Fluoride release rate from an orthodontic sealant and its clinical implication. Angle Orthod. 72 (2006): 282-288.
- [67] Budtz-Jorgensen, E.; and Kaaber, S. Clinical effects of glazing denture acrylic resin bases using an ultraviolet curing method. Scand J. Dent. Res. 94 (1986): 569-574.
- [68] Monsenego, P. Presence of microorganisms on the fitting denture complete surface: study 'in vivo'. J. Oral Rehabil. 27 (2000): 708-713.
- [69] Sesma, N.; Lagana, D. C.; Morimoto, S.; and Gil, C. Effect of denture surface glazing on denture plaque formation. Braz. Dent. J. 16 (2005): 129-134.
- [70] Parsons, P. Surface coatings: Raw materials and their usage. 3rd ed. London: Chapman & Hall, 1993.
- [71] Marrion, A., ed. The chemistry and physics of coatings. Cambridge: The Royal Society of Chemistry Press, 1994.
- [72] Bruins, P. E., ed. Unsaturated polyester technology. New York : Taylor & Francis, 1976.
- [73] Bjorkner, R., Ponten, A. , Zimerson, E. ,and Frick, M. Plastic materials. In: Frosch,P. J., Menne, T.,and Lepoittevin, J. P. (eds.), Contact Dermatitis. 4th ed., pp. 584-621. Heidelberg: Springer, 2006.
- [74] Odian, G. Principle of polymerization. 4th ed. New Jersey: Wiley-interscience, 2004.
- [75] Watts, D., and Silikas, N. In situ photo-polymerization and polymerization-shrinkage phenomena: Interfacial phenomena and related properties. In: Eliades, G, Watts, D.C., and Eliades, T. (eds.), Dental hard tissue and bonding, pp. 123-154. Heidelberg: Springer, 2005.
- [76] Fisher, J. P.; Dean, D.; Engle, P.; and Mikos, A. Photoinitiated polymerization of biomaterials. Annu. Rev. Mater. Res. 31 (2001): 171-181.
- [77] Andrzejewska, E. Polymerization kinetics of multifunctional monomers. Prog. Polym. Sci. 26 (2001): 605-665.
- [78] Elliott, J.; Lovell, L. G.; and Bowman, C. N. Primary cyclization in the polymerization of bis-GMA and TEGDMA: A modeling approach to understanding the cure of dental resins. Dent. Mater. 17 (2001): 221-229.

- [79] Studer, K.; Decker, C.; Beck, E.; and Schwalm, R. Overcoming oxygen inhibition in UV-curing of acrylate coating by carbon dioxide inerting: Part I. Progr. Org. Coating 48 (2003): 92-100.
- [80] Ravve, A. Chemistry of photocurable compositions. in Light-associated reactions of synthetic polymer, pp. 123-198. New York: Springer, 2006.
- [81] Ravve, A. Photosensitizers and photoinitiators. in Light-associated reactions of synthetic polymer, pp. 23-122. New York: Springer, 2006.
- [82] Jakubiak, J.; Wrzyszczyński, A.; and Linden, L., A. The role of amines in the camphorquinone photoinitiated polymerization of multifunctional monomer. J. Macromol. Sci. 44 (2007): 239-242.
- [83] Schneider, L. F.; Consani, S.; Sakahuchi, R. L.; and Ferracane, J. L. Alternative photoinitiator system reduces the rate of stress development without compromising the final properties of the dental composite. Dent. Mater. (in Press).
- [84] Schneider, L. F. J.; Pfeifer, C. S. C.; Consani, S.; Prahl, S. A.; and Ferracane, J. L. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. Dent. Mater. 24 (2008): 1169-1177.
- [85] Sun, G. J.; and Chae, K. H. Properties of 2,3-butanedione and 1-phenyl-1,2-propanedione as new photosensitizers for visible light cured dental resin composites. Polymer 41 (2000): 6205-6212.
- [86] Park, Y. J.; Chae, K. H.; and Rawls, H. R. Development of a new photoinitiator system for dental light-cure composite resins. Dent. Mater. 15 (1999): 120-127.
- [87] Kim, O. Effect of photo-accelerator on the polymerization behavior of light-activated polymeric dental restorative composites. J. Ind. Eng. Chem. 11 (2005): 287-292.
- [88] The International Organization for Standardization. ISO 1567: Dentistry-Denture base polymers. Switzerland, 1999.
- [89] The International Organization for Standardization. ISO 10477: Dentistry-Polymer-based crown and bridge materials. Switzerland, 2004.
- [90] The International Organization for Standardization. ISO 4049: Dentistry-Polymer-based filling, restorative and luting materials. Switzerland, 2000.

- [91] American Society for Testing and Materials. ASTM E 384-05a: Standard test method for microindentation hardness of materials. West Conshohocken, 2006.
- [92] American Society for Testing and Materials. ASTM D 1179-04: Standard test methods for fluoride ion in water. West Conshohocken, 2006.
- [93] American Society for Testing and Materials. ASTM D 2095-96: Standard test method for tensile strength of adhesives by means of bar and rod specimens. West Conshohocken, 2006.
- [94] Pomogailo, A. D.; and Kestelman, V. N. Principles and mechanisms of nanoparticle stabilization by polymers. in Metallopolymer nanocomposites, pp. 65-116. Heidelberg: Springer, 2005.
- [95] Cucci, A. L. M.; Rached, R. N.; Giampolol, E. T.; and Vergani, C. E. Tensile bond strengths of hard chair side reline resin as influence by water storage. J. Oral Rehabil. 26 (1999): 631-634.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุ

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุ

		หน้า
1.	Bisphenol A glycolate (1 glycerol/phenol) diacrylate.....	118
2.	Glycerol 1, 3-diglycerolate diacrylate.....	122
3.	Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers.....	126
4.	Triethylene glycol dimethacrylate.....	130
5.	Di (ethylene glycol) methyl ether methacrylate.....	135
6.	2-Hydroxyethyl methacrylate.....	139
7.	Methacrylic acid.....	145
8.	(±)-Camphorquinone.....	151
9.	(2-Dimethylaminoethyl) methacrylate.....	155
10.	Sodium fluoride.....	161
11.	Calcium fluoride precipitated pure.....	167
12.	Triplex hot polymer.....	172
13.	Rebase aid.....	177
14.	Fluoride standard.....	178
15.	TISAB III.....	179

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 27/APR/2009
 Date Updated: 15/AUG/2007
 Version 1.3
 Regulation (EC) No 1907/2006

1 - Product and Company Information

Product Name BISPHENOL A GLYCEROLATE (1 GLYCEROL/
 PHENOL) DIACRYLATE
 Product Number 411167
 Company Sigma-Aldrich Pte Ltd
 #02-14 The Capricorn, Sci. Park II
 Singapore 117528
 Singapore
 Technical Phone # (65) 6779 1200
 Fax (65) 6779 1822

2 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT
 May cause sensitization by skin contact.

3 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
BISPHENOL A GLYCEROLATE (1 GLYCEROL/PHENOL) DIACRYLATE	4687-94-9	225-144-3	None
Formula	C27H32O8		
Molecular Weight	484.55 AMU		

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION

If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult,
 call a physician.

AFTER SKIN CONTACT

In case of skin contact, flush with copious amounts of water for
 at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes.
 Call a physician.

AFTER EYE CONTACT

In case of contact with eyes, flush with copious amounts of
 water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by
 separating the eyelids with fingers. Call a physician.

AFTER INGESTION

If swallowed, wash out mouth with water provided person is
 conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA

Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or

appropriate foam.

SPECIAL RISKS

Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS

Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

SPECIFIC METHOD(S) OF FIRE FIGHTING

Use water spray to cool fire-exposed containers.

6 - Accidental Release Measures

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)

Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots, and heavy rubber gloves.

METHODS FOR CLEANING UP

Absorb on sand or vermiculite and place in closed containers for disposal. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING

Directions for Safe Handling: Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure. Do not breathe vapor.

STORAGE

Conditions of Storage: Keep tightly closed.

SPECIAL REQUIREMENTS: Heat sensitive.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS

Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES

Wash thoroughly after handling. Wash contaminated clothing before reuse.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a dust mask type N95 (US) or type P1 (EN 143) respirator.

Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves.

Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Liquid Color: Colorless to Pale Yellow	
Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	N/A	
BP/BP Range	N/A	

MP/MP Range	N/A	
Flash Point	113 °C	Method: closed cup
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	N/A	
SG/Density	1.18 g/cm ³	
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	N/A	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	N/A	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	N/A	
Surface Tension	N/A	
Conductivity	N/A	
Miscellaneous Data	N/A	
Solubility	N/A	

10 - Stability and Reactivity

STABILITY

Stable: Stable.
 Conditions of Instability: Heat.
 Conditions to Avoid: Direct sunlight
 Materials to Avoid: Strong oxidizing agents, Acids, Bases, Amines,
 Free radical initiators.

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous Polymerization: Will occur

11 - Toxicological Information

SENSITIZATION

Skin: May cause allergic skin reaction.

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE

Skin Contact: May cause skin irritation.
 Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
 Eye Contact: May cause eye irritation.
 Inhalation: Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract. May be harmful if inhaled.
 Ingestion: May be harmful if swallowed.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL

Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental

regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR

Non-hazardous for road transport.

IMDG

Non-hazardous for sea transport.

IATA

Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information

CLASSIFICATION AND LABELING ACCORDING TO EU DIRECTIVES

INDICATION OF DANGER: Xi

Irritant.

R-PHRASES: 43

May cause sensitization by skin contact.

S-PHRASES: 36-37

Wear suitable protective clothing. Wear suitable gloves.

COUNTRY SPECIFIC INFORMATION

Germany

WGK: 3

Self-Classification

16 - Other Information

WARRANTY

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale. Copyright 2009 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER

For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 22/APR/2009
 Date Updated: 30/MAR/2007
 Version 1.3
 Regulation (EC) No 1907/2006

1 - Product and Company Information

Product Name GLYCEROL 1,3-DIGLYCEROLATE DIACRYLATE,
 TECH.
 Product Number 475807
 Company Sigma-Aldrich Pte Ltd
 #02-14 The Capricorn, Sci. Park II
 Singapore 117528
 Singapore
 Technical Phone # (65) 6779 1200
 Fax (65) 6779 1822

2 - Hazards Identification

3 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
GLYCEROL 1,3-DIGLYCEROLATE DIACRYLATE,TECH.	60453-84-1	None	None
Formula	C15H24O9		
Molecular Weight	348.35 AMU		
Synonyms	Triglycerol diacrylate		

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION

If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult,
 call a physician.

AFTER SKIN CONTACT

In case of contact, immediately wash skin with soap and copious
 amounts of water.

AFTER EYE CONTACT

In case of contact with eyes, flush with copious amounts of
 water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by
 separating the eyelids with fingers. Call a physician.

AFTER INGESTION

If swallowed, wash out mouth with water provided person is
 conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA

Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or
 appropriate foam.

SPECIAL RISKS

Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS

Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

6 - Accidental Release Measures**METHODS FOR CLEANING UP**

Absorb on sand or vermiculite and place in closed containers for disposal. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage**HANDLING**

Directions for Safe Handling: Avoid inhalation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.

STORAGE

Conditions of Storage: Keep tightly closed.
Store at 2-8°C

8 - Exposure Controls / Personal Protection**ENGINEERING CONTROLS**

Safety shower and eye bath. Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES

Wash thoroughly after handling.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Respiratory protection is not required. Where protection is desired, use multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges.

Hand Protection: Protective gloves.

Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Liquid	
Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	N/A	
BP/BP Range	N/A	
MP/MP Range	N/A	
Flash Point	113 °C	Method: closed cup
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	N/A	
SG/Density	1.237 g/cm ³	25 °C
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	N/A	

Saturated Vapor Conc.	N/A
Evaporation Rate	N/A
Bulk Density	N/A
Decomposition Temp.	N/A
Solvent Content	N/A
Water Content	N/A
Surface Tension	N/A
Conductivity	N/A
Miscellaneous Data	N/A
Solubility	N/A

10 - Stability and Reactivity

STABILITY

Stable: Stable.

Materials to Avoid: Strong oxidizing agents.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, Carbon dioxide.

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous Polymerization: Will not occur

11 - Toxicological Information

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE

Skin Contact: May cause skin irritation.

Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.

Eye Contact: May cause eye irritation.

Inhalation: Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract. May be harmful if inhaled.

Ingestion: May be harmful if swallowed.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL

Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR

Non-hazardous for road transport.

IMDG

Non-hazardous for sea transport.

IATA

Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information

Caution: Substance not yet fully tested (EU).

COUNTRY SPECIFIC INFORMATION

Germany

WGK: 3

Self-Classification

16 - Other Information

WARRANTY

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale. Copyright 2009 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER

For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

SIGMA-ALDRICH**SAFETY DATA SHEET**

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 3.1 Revision Date 06.01.2009

Print Date 22.04.2009

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

Product name : Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers

Product Number : 436909

Brand : Aldrich

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
(Co. Registration No. 199403788W)
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn, S'pore Sci. Pkll
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200

Fax : +65 6779 1822

Emergency Phone # :

2. HAZARDS IDENTIFICATION

This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Formula : $C_{23}H_{38}N_2O_8$

Molecular Weight : 470,56 g/mol

CAS-No.	EC-No.	Index-No.	Classification	Concentration
Diurethane dimethacrylate, mixture of isomers				
72869-86-4	276-957-5	-	-	-

4. FIRST AID MEASURES**If inhaled**

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing give artificial respiration

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water.

In case of eye contact

Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES**Suitable extinguishing media**

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

Special protective equipment for fire-fighters

Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES																					
<p>Personal precautions Avoid breathing vapors, mist or gas.</p> <p>Environmental precautions Do not let product enter drains.</p> <p>Methods for cleaning up Keep in suitable, closed containers for disposal.</p>																					
7. HANDLING AND STORAGE																					
<p>Handling Normal measures for preventive fire protection.</p> <p>Storage Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Store in cool place. Recommended storage temperature: 2 - 8 °C</p>																					
8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION																					
<p>Personal protective equipment</p> <p>Respiratory protection Respiratory protection is not required. Where protection is desired, use multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).</p> <p>Hand protection For prolonged or repeated contact use protective gloves.</p> <p>Eye protection Safety glasses</p> <p>Hygiene measures General industrial hygiene practice.</p>																					
9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES																					
<p>Appearance</p> <table> <tr> <td>Form</td> <td>liquid</td> </tr> </table> <p>Safety data</p> <table> <tr> <td>pH</td> <td>no data available</td> </tr> <tr> <td>Melting point</td> <td>no data available</td> </tr> <tr> <td>Boiling point</td> <td>200 °C</td> </tr> <tr> <td>Flash point</td> <td>> 113,00 °C - closed cup</td> </tr> <tr> <td>Ignition temperature</td> <td>no data available</td> </tr> <tr> <td>Lower explosion limit</td> <td>no data available</td> </tr> <tr> <td>Upper explosion limit</td> <td>no data available</td> </tr> <tr> <td>Density</td> <td>1,11 g/mL at 25 °C</td> </tr> <tr> <td>Water solubility</td> <td>no data available</td> </tr> </table>		Form	liquid	pH	no data available	Melting point	no data available	Boiling point	200 °C	Flash point	> 113,00 °C - closed cup	Ignition temperature	no data available	Lower explosion limit	no data available	Upper explosion limit	no data available	Density	1,11 g/mL at 25 °C	Water solubility	no data available
Form	liquid																				
pH	no data available																				
Melting point	no data available																				
Boiling point	200 °C																				
Flash point	> 113,00 °C - closed cup																				
Ignition temperature	no data available																				
Lower explosion limit	no data available																				
Upper explosion limit	no data available																				
Density	1,11 g/mL at 25 °C																				
Water solubility	no data available																				
10. STABILITY AND REACTIVITY																					
Aldrich - 436909	www.sigma-aldrich.com																				
Page 2 of 4																					

Storage stability

Stable under recommended storage conditions.

Materials to avoid

Strong oxidizing agents

Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**Acute toxicity**

no data available

Irritation and corrosion

no data available

Sensitisation

no data available

Chronic exposure

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Potential Health Effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.

12. ECOLOGICAL INFORMATION**Elimination information (persistence and degradability)**

no data available

Ecotoxicity effects

no data available

Further information on ecology

no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS**Product**

Observe all federal, state, and local environmental regulations.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION**ADR/RID**

Not dangerous goods

IMDG

Not dangerous goods

IATA
Not dangerous goods

15. REGULATORY INFORMATION

Labelling according to EC Directives

Further information:

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

16. OTHER INFORMATION

Further information

Copyright 2009 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only. The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Co., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

SIGMA-ALDRICH**SAFETY DATA SHEET**

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 3.0 Revision Date 25.03.2009

Print Date 22.04.2009

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

Product name : Triethylene glycol dimethacrylate

Product Number : 261548

Brand : Aldrich

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
(Co. Registration No. 199403788W)
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn, S'pore Sci. PkII
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200

Fax : +65 6779 1822

Emergency Phone # :

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Risk advice to man and the environment
Irritating to eyes, respiratory system and skin. May cause sensitization by skin contact.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Synonyms : 2,2'-ethylenedioxydiethyl dimethacrylate

Formula : C₁₄H₂₂O₆

Molecular Weight : 286,32 g/mol

CAS-No.	EC-No.	Index-No.	Classification	Concentration
2,2'-ethylenedioxydiethyl dimethacrylate				
109-16-0	203-652-6	-	Xi, R36/37/38 - R43	-

4. FIRST AID MEASURES

General advice
Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing give artificial respiration Consult a physician.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact
Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

<p>5. FIRE-FIGHTING MEASURES</p> <p>Suitable extinguishing media Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.</p> <p>Special protective equipment for fire-fighters Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.</p>			
<p>6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES</p> <p>Personal precautions Use personal protective equipment. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation.</p> <p>Environmental precautions Do not let product enter drains.</p> <p>Methods for cleaning up Soak up with inert absorbent material and dispose of as hazardous waste. Keep in suitable, closed containers for disposal.</p>			
<p>7. HANDLING AND STORAGE</p> <p>Handling Avoid contact with skin and eyes. Avoid inhalation of vapour or mist. Normal measures for preventive fire protection.</p> <p>Storage Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Recommended storage temperature: 2 - 8 °C Light sensitive.</p>			
<p>8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION</p> <p>Personal protective equipment</p> <p>Respiratory protection Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a full-face respirator with multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to engineering controls. If the respirator is the sole means of protection, use a full-face supplied air respirator. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).</p> <p>Hand protection The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it. Handle with gloves.</p> <p>Eye protection Safety glasses</p> <p>Skin and body protection Choose body protection according to the amount and concentration of the dangerous substance at the work place.</p> <p>Hygiene measures Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.</p>			
<p>9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES</p> <p>Appearance</p> <table> <tr> <td>Form</td> <td>liquid</td> </tr> </table> <p>Aldrich - 261548 www.sigma-aldrich.com Page 2 of 5</p>		Form	liquid
Form	liquid		

Safety data

pH	no data available
Melting point	no data available
Boiling point	170 - 172 °C at 7 hPa
Flash point	167 °C - closed cup
Ignition temperature	no data available
Lower explosion limit	no data available
Upper explosion limit	no data available
Density	1,092 g/mL at 25 °C
Water solubility	no data available
Partition coefficient: n-octanol/water	POW: 1,88

10. STABILITY AND REACTIVITY**Storage stability**

Stable under recommended storage conditions.

Conditions to avoid

May polymerize on exposure to light.

Materials to avoid

Strong bases, Strong oxidizing agents

Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**Acute toxicity**

LD50 Oral - rat - 10.837 mg/kg

LD50 Oral - mouse - 10.750 mg/kg

TDL₀ Oral - rat - 7.889 mg/kg

Irritation and corrosion

The product causes irritation of eyes, skin and mucous membranes.

Sensitisation

May cause sensitization by skin contact.

Chronic exposure

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Signs and Symptoms of Exposure

Symptoms of exposure may include burning sensation, coughing, wheezing, laryngitis, shortness of breath, headache, nausea, and vomiting., To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

Potential Health Effects

Inhalation May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Co., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

หมายเหตุ: เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกับของ Fluka ที่ได้เลิกการผลิตแล้ว

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 22/APR/2009
Date Updated: 12/FEB/2006
Version 1.3
Regulation (EC) No 1907/2006

1 - Product and Company Information

Product Name DI (ETHYLENE GLYCOL) METHYL ETHER METH-
ACRYLATE, 95%
Product Number 447927
Company Sigma-Aldrich Pte Ltd
#02-14 The Capricorn, Sci. Park II
Singapore 117528
Singapore
Technical Phone # (65) 6779 1200
Fax (65) 6779 1822

2 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT
Irritating to eyes, respiratory system and skin. May cause
sensitization by skin contact.

3 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
DI (ETHYLENE GLYCOL) METHYL ETHER METHACRYLATE	45103-58-0	256-190-2	None
Formula	C9H16O4		
Molecular Weight	188.22 AMU		

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION
If inhaled, remove to fresh air. If not breathing give
artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.

AFTER SKIN CONTACT
In case of contact, immediately wash skin with soap and copious
amounts of water.

AFTER EYE CONTACT
In case of contact, immediately flush eyes with copious amounts
of water for at least 15 minutes.

AFTER INGESTION
If swallowed, wash out mouth with water provided person is
conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA
Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or
appropriate foam.

SPECIAL RISKS

Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS

Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

6 - Accidental Release Measures

PERSONAL PRECAUTION PROCEDURES TO BE FOLLOWED IN CASE OF LEAK OR SPILL
Evacuate area.

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)

Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots, and heavy rubber gloves.

METHODS FOR CLEANING UP

Absorb on sand or vermiculite and place in closed containers for disposal. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING

Directions for Safe Handling: Do not breathe vapor. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.

STORAGE

Conditions of Storage: Keep tightly closed. Limit storage time.
Store at 2-8°C

SPECIAL REQUIREMENTS: Heat sensitive.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS

Safety shower and eye bath. Use only in a chemical fume hood.

GENERAL HYGIENE MEASURES

Wash thoroughly after handling.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a full-face respirator with multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to engineering controls. If the respirator is the sole means of protection, use a full-face supplied air respirator.
Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves.
Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Liquid	
Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	N/A	
BP/BP Range	98 °C	3.5 mmHg

MP/MP Range	N/A	
Flash Point	113 °C	Method: closed cup
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	N/A	
SG/Density	1.02 g/cm ³	
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	N/A	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	N/A	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	N/A	
Surface Tension	N/A	
Conductivity	N/A	
Miscellaneous Data	N/A	
Solubility	N/A	

10 - Stability and Reactivity

STABILITY

Stable: Unstable.
 Conditions to Avoid: Heat.
 Materials to Avoid: Metals, Amines, Free radical initiators,
 Oxidizing agents.

STABILIZERS PRESENT

Stabilized with 300 ppm butylated hydroxytoluene (BHT). Inhibited
 with 100 ppm hydroquinone monomethyl ether (MEHQ).

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous Polymerization: May occur

11 - Toxicological Information

SENSITIZATION

Skin: May cause allergic skin reaction.

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

Exposure may cause: Coughing, chest pains, difficulty in
 breathing. To the best of our knowledge, the chemical, physical,
 and toxicological properties have not been thoroughly
 investigated.

ROUTE OF EXPOSURE

Skin Contact: Causes skin irritation.
 Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
 Eye Contact: Causes eye irritation.
 Inhalation: Material is irritating to mucous membranes and upper
 respiratory tract. May be harmful if inhaled.
 Ingestion: May be harmful if swallowed.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL

Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information**RID/ADR**

Non-hazardous for road transport.

IMDG

Non-hazardous for sea transport.

IATA

Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information**CLASSIFICATION AND LABELING ACCORDING TO EU DIRECTIVES**

INDICATION OF DANGER: Xi

Irritant.

R-PHRASES: 36/37/38-43

Irritating to eyes, respiratory system and skin. May cause sensitization by skin contact.

S-PHRASES: 26-36/37

In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. Wear suitable protective clothing and gloves.

COUNTRY SPECIFIC INFORMATION**Germany**

WGK: 3

Self-Classification

16 - Other Information**WARRANTY**

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale. Copyright 2009 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER

For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 22/APR/2009
 Date Updated: 29/OCT/2008
 Version 1.7
 Regulation (EC) No 1907/2006

1 - Product and Company Information

Product Name 2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE, 97%
 Product Number 128635
 Company Sigma-Aldrich Pte Ltd
 #02-14 The Capricorn, Sci. Park II
 Singapore 117528
 Singapore
 Technical Phone # (65) 6779 1200
 Fax (65) 6779 1822

2 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT
 Irritating to eyes, respiratory system and skin. May cause sensitization by skin contact.

3 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE	868-77-9	212-782-2	607-124-00-X
Ingredient Name Stabilized with:	Percent None	CAS # None	EC no None
DIETHYLENE GLYCOL MONOMETHACRYLATE	3	2351-43-1	None
METHACRYLIC ACID Symbols: C R-Phrases: 21/22-35	<= 1.5	79-41-4	201-204-4
Harmful in contact with skin and if swallowed. Causes severe burns.			
OTHER ESTER ADDUCTS	0.7	None	None
ETHYLENE GLYCOL Symbols: Xn R-Phrases: 22	0.25	107-21-1	203-473-3
Harmful if swallowed.			
4-METHOXYPHENOL Symbols: Xn R-Phrases: 22-36-43	0.035	150-76-5	205-769-8
Harmful if swallowed. Irritating to eyes. May cause sensitization by skin contact.			
ETHYLENE OXIDE Carc. Cat.2 Muta. Cat.2 Symbols: F+-T R-Phrases: 45-46-12-23-36/37/38	0.001	75-21-8	200-849-9
603-023-00-X			

May cause cancer. May cause heritable genetic damage. Extremely flammable. Also toxic by inhalation. Irritating to eyes, respiratory system and skin.

Formula C6H10O3
Molecular Weight 130.14 AMU
Synonyms Ethylene glycol methacrylate * Ethylene glycol, monomethacrylate * Glycol methacrylate * Glycol monomethacrylate * Hydroxyethyl methacrylate * beta-Hydroxyethyl methacrylate * 2-Hydroxyethyl methacrylate * Mhoromer * Monomer MG-1 * Monomethacrylic ether of ethylene glycol

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION

If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult, call a physician.

AFTER SKIN CONTACT

In case of skin contact, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Call a physician.

AFTER EYE CONTACT

In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating the eyelids with fingers. Call a physician.

AFTER INGESTION

If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA

Suitable: Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.

SPECIAL RISKS

Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions. Explosion Hazards: May explode when heated. Closed containers may rupture and explode during runaway polymerization.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS

Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

SPECIFIC METHOD(S) OF FIRE FIGHTING

Use water spray to cool fire-exposed containers.

6 - Accidental Release Measures

PERSONAL PRECAUTION PROCEDURES TO BE FOLLOWED IN CASE OF LEAK OR SPILL
Shut off all sources of ignition. Evacuate area.

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)

Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots, and heavy rubber gloves.

METHODS FOR CLEANING UP

Absorb on sand or vermiculite and place in closed containers for

disposal. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING

Directions for Safe Handling: Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure. Do not breathe vapor.

STORAGE

Conditions of Storage: Keep tightly closed.
Store at 2-8°C

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS

Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES

Wash thoroughly after handling. Wash contaminated clothing before reuse.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a full-face respirator with multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to engineering controls. If the respirator is the sole means of protection, use a full-face supplied air respirator.
Special Protective Measures: Wear appropriate government approved respirator, chemical-resistant gloves, safety goggles, other protective clothing.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Clear liquid Color: Colorless	
Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	N/A	
BP/BP Range	67 °C	3.5 mmHg
MP/MP Range	46.0 - 50.0 °C	
Flash Point	101 °C	Method: closed cup
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	0.01 mmHg	25 °C
SG/Density	1.071 g/cm ³	
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	5 g/l	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	N/A	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	N/A	

Surface Tension	N/A
Conductivity	N/A
Miscellaneous Data	N/A
Solubility	N/A

10 - Stability and Reactivity

STABILITY

Conditions to Avoid: Light. Heat. Moisture.
Materials to Avoid: Oxidizing agents, Free radical initiators,
Steel, Peroxides Avoid contact with metals.

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous Polymerization: May occur
Hazardous Polymerization Reactions: Loss of inhibitor

11 - Toxicological Information

RTECS NUMBER: OZ4725000

ACUTE TOXICITY

LD50
Oral
Rat
5050 mg/kg
Remarks: Behavioral:Coma.

LD50
Intraperitoneal
Rat
1250 MG/KG

LD50
Oral
Mouse
3275 mg/kg
Remarks: Behavioral:Coma.

LD50
Intraperitoneal
Mouse
497 MG/KG

LD50
Oral
Guinea pig
4680 mg/kg
Remarks: Behavioral:Coma.

SENSITIZATION

Skin: May cause allergic skin reaction.

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and
toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE

Skin Contact: Causes skin irritation.
Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
Eye Contact: Causes eye irritation.
Inhalation: May be harmful if inhaled. Material is irritating to

mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

TARGET ORGAN INFORMATION
Heart. Liver. Kidneys.

CHRONIC EXPOSURE - REPRODUCTIVE HAZARD

Species: Rat Rat
Dose: 3062 MG/KG 3062 MG/KG
Route of Application: Oral Oral
Exposure Time: (35W PRE) (35W PRE)
Result: Effects on Fertility: Post-implantation mortality (e.g., dead and/or resorbed implants per total number of implants).
Effects on Embryo or Fetus: Fetal death. Effects on Embryo or Fetus: Fetal death. Effects on Fertility: Post-implantation mortality (e.g., dead and/or resorbed implants per total number of implants).

Species: Rat Rat
Dose: 3062 MG/KG 3062 MG/KG
Route of Application: Oral Oral
Exposure Time: (35W MALE) (35W MALE)
Result: Effects on Embryo or Fetus: Fetotoxicity (except death, e.g., stunted fetus). Effects on Fertility: Pre-implantation mortality (e.g., reduction in number of implants per female; total number of implants per corpora lutea). Effects on Embryo or Fetus: Fetal death. Effects on Fertility: Pre-implantation mortality (e.g., reduction in number of implants per female; total number of implants per corpora lutea). Effects on Embryo or Fetus: Fetotoxicity (except death, e.g., stunted fetus). Effects on Embryo or Fetus: Fetal death.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL

Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR

Non-hazardous for road transport.

IMDG

Non-hazardous for sea transport.

IATA

Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information

CLASSIFICATION AND LABELING ACCORDING TO EU DIRECTIVES

ANNEX I INDEX NUMBER: 607-124-00-X
INDICATION OF DANGER: Xi

Irritant.

R-PHRASES: 36/37/38-43

Irritating to eyes, respiratory system and skin. May cause sensitization by skin contact.

S-PHRASES: 26-36/37

In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. Wear suitable protective clothing and gloves.

Caution: Substance not yet fully tested (EU).

COUNTRY SPECIFIC INFORMATION

Germany

WGK: 1

Self-Classification

16 - Other Information

WARRANTY

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale. Copyright 2009 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER

For R&D use only. Not for drug, household or other uses.



Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

Date of issue: 28.03.2008
Supersedes edition of 27.10.2004

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Catalogue No.: 800578
Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

Use of the substance/preparation

Chemical for synthesis

Company/undertaking identification

Company: Merck Schuchardt OHG * 85662 Hohenbrunn * Germany *
Tel: +49 8102/802-0
Emergency telephone No.: Please contact the regional Merck representation in your country.
Contact for information: EHSQ/EHS-PI * e-mail: prodsafe@merck.de

2. Hazards identification

Harmful in contact with skin and if swallowed. Causes severe burns.

3. Composition/information on ingredients

Synonyms

2-Methylpropenoic acid

CAS-No.:	79-41-4	EC-Index-No.:	607-088-00-5
M:	86.09 g/mol	EC-No.:	201-204-4
Formula Hill:	C ₄ H ₆ O ₂		
Chemical formula:	CH ₂ C(CH ₃)COOH		

4. First aid measures

After inhalation: fresh air. Call in physician.
After skin contact: wash off with plenty of water. Dab with polyethylene glycol 400. Immediately remove contaminated clothing.
After eye contact: rinse out with plenty of water for at least 10 minutes with the eyelid held wide open. Immediately call in ophthalmologist.
After swallowing: make victim drink water (two glasses at the most), avoid vomiting (risk of perforation!). Immediately call in physician. Do not attempt to neutralize.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 800578
Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
Water, CO₂, foam, powder.

Special risks:

Combustible. Vapours heavier than air.

Forms explosive mixtures with air at elevated temperatures.

Development of hazardous combustion gases or vapours possible in the event of fire. Explosive decomposition possible on heating.

Special protective equipment for fire fighting:

Do not stay in dangerous zone without self-contained breathing apparatus. In order to avoid contact with skin, keep a safety distance and wear suitable protective clothing.

Other information:

Cool container with spray water from a safe distance. Contain escaping vapours with water. Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:

Avoid substance contact. Do not inhale vapours/aerosols. Ensure supply of fresh air in enclosed rooms.

Environmental-protection measures:

Do not allow to enter sewerage system.

Procedures for cleaning / absorption:

Take up with liquid-absorbent material (e.g. Chemizorb®). Forward for disposal. Clean up affected area.

7. Handling and storage

Handling:

No further requirements.

Storage:

Tightly closed. At +15°C to +25°C.

Protected from light.

8. Exposure controls/personal protection

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiratory protection: required when vapours/aerosols are generated. Filter A (acc. to DIN 3181) for vapours of organic compounds

Eye protection: required

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 800578
 Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

Hand protection:

In full contact:	
Glove material:	butyl rubber
Layer thickness:	0.7 mm
Breakthrough time:	> 480 Min.
In splash contact:	
Glove material:	nitrile rubber
Layer thickness:	0.40 mm
Breakthrough time:	> 120 Min.

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC directive 89/686/EEC and the resultant standard EN374, for example KCL 898 Butoject® (full contact), 730 Camatril® -Velours (splash contact). The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet and supplied by us as well as to the purpose specified by us. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Other protective equipment: Suitable protective clothing.

Industrial hygiene:
 Immediately change contaminated clothing. Apply skin- protective barrier cream. Wash hands and face after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form:	liquid		
Colour:	colourless		
Odour:	pungent		
pH value			
at 100 g/l H ₂ O	(20 °C)	2.0-2.2	
Viscosity dynamic	(20 °C)	1.312	mPa*s
Melting point		15	°C
Boiling point	(1013 hPa)	161	°C
Ignition temperature		370	°C (DIN 51794)
Flash point		65	°C (DIN 51755)
Explosion limits	lower	1.6	Vol%
	upper	8.7	Vol%
Vapour pressure	(20 °C)	< 1	hPa
	(50 °C)	6.7	hPa
Relative vapour density		2.97	
Density	(20 °C)	1.015	g/cm ³
Solubility in water	(20 °C)	soluble	
log Pow		0.93	(IUCLID)

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 800578
Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

Upon decomposition in closed containers and tubes risk of bursting due to buildup of overpressure.

Heating. A range from approx. 15 Kelvin below the flash point is to be rated as critical.

Substances to be avoided

Violent reactions possible with: (polymerization) polymerization initiators, peroxi compounds, persulfates, hydrogen peroxide, sodium thiosulfate, iron/iron-containing compounds, strong oxidizing agents, peroxides, persulfates, heavy metal salts, reducing agents, strong acids, bases.

Hazardous decomposition products

no information available

Stabilizer

hydroquinone monomethyl ether (4-methoxyphenol).

Further information

heat-sensitive (polymerization), light-sensitive.
explosible with air in a vaporous/gaseous state when heated

11. Toxicological information

Acute toxicity

LC₅₀ (inhalation, rat): 7.1 mg/l /4 h (IUCLID).

LD₅₀ (oral, rat): 1320 mg/kg (IUCLID).

Specific symptoms in animal studies:

Eye irritation test (rabbit): burns (IUCLID).

Skin irritation test (rabbit): burns (OECD 404).

Subacute to chronic toxicity

Sensitization:

Sensitization test (guinea pig): negative. (OECD 406)

Bacterial mutagenicity: Ames test: negative. (IUCLID)

Further toxicological information

After inhalation: Irritations of the mucous membranes, coughing, and dyspnoea.

After uptake of large quantities: pulmonary oedema (Latency time until onset of action.).

After skin contact: burns, Danger of skin absorption.

After eye contact: Burns. Risk of blindness!

After swallowing: burns in mouth, throat, oesophagus and gastrointestinal tract. Risk of perforation in the oesophagus and stomach. absorption.

Systemic effects: headache, unconsciousness.

Damage of: liver, kidneys.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 800578
 Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

12. Ecological information

Biologic degradation:
 Biodegradation: 86 % /28 d (OECD 301 D).
 Readily biodegradable.

Behavior in environmental compartments:
 Distribution: log Pow: 0,93 (IUCLID).
 No bioaccumulation is to be expected (log Pow <1).

Ecotoxic effects:
 Biological effects:
 Fish toxicity: *Onchorhynchus mykiss* LC₅₀: 85 mg/l /96 h (IUCLID).
 Daphnia toxicity: *Daphnia magna* EC₅₀: 130 mg/l /48 h (IUCLID).
 Algal toxicity: *Pseudokirchneriella subcapitata* IC₅₀: 45 mg/l /72 h (OECD 201).
 Bacterial toxicity: activated sludge EC₅₀: 70000 mg/l /30 min (IUCLID).

Further ecologic data:
 Do not allow to enter waters, waste water, or soil!

13. Disposal considerations

Product:

Chemicals must be disposed of in compliance with the respective national regulations. Under www.retrologistik.de you will find country- and substance-specific information as well as contact partners.

Packaging:

Merck product packaging must be disposed of in compliance with the country-specific regulations or must be passed to a packaging return system. Under www.retrologistik.de you will find special information on the respective national conditions as well as contact partners.

14. Transport information

Road & Rail ADR, RID
 UN 2531 METHACRYLSAEURE, STABILISIERT, 8, II

Inland waterway ADN, ADNR not tested

Sea IMDG-Code
 UN 2531 METHACRYLIC ACID, STABILIZED, 8, II
 Ems F-A S-B

Air CAO, PAX
 UN 2531 METHACRYLIC ACID, STABILIZED, 8, II

The transport regulations are cited according to international regulations and in the form applicable in Germany. Possible national deviations in other countries are not considered.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 800578
Product name: Methacrylic acid (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol:	C	Corrosive
R-phrases:	21/22-35	Harmful in contact with skin and if swallowed. Causes severe burns.
S-phrases:	26-36/37/39-45	In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. Wear suitable protective clothing, gloves and eye/face protection. In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).
EC-No.:	201-204-4	EC label

16. Other information

Reason for alteration

Chapter 10: stability and reactivity.
Chapter 11: toxicological information.
Chapter 12: ecological information.

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterizes the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of the properties of the product.

SIGMA-ALDRICH**SAFETY DATA SHEET**

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 3.0 Revision Date 28.12.2008

Print Date 22.04.2009

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

Product name : Camphorquinone

Product Number : 124893

Brand : Aldrich

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
(Co. Registration No. 199403788W)
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn, S'pore Sci. Pkll
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200

Fax : +65 6779 1822

Emergency Phone # :

2. HAZARDS IDENTIFICATION

This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Synonyms : (±)-Camphorquinone
2,3-Bornanedione

Formula : C₁₀H₁₄O₂

Molecular Weight : 166,22 g/mol

CAS-No.	EC-No.	Index-No.	Classification	Concentration
DL-bornane-2,3-dione				
10373-78-1	233-814-1	-	-	-

4. FIRST AID MEASURES**If inhaled**

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing give artificial respiration

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water.

In case of eye contact

Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES**Suitable extinguishing media**

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

Special protective equipment for fire-fighters

Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**Personal precautions**

Avoid dust formation.

Environmental precautions

Do not let product enter drains.

Methods for cleaning up

Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

7. HANDLING AND STORAGE**Handling**

Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. Normal measures for preventive fire protection.

Storage

Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION**Personal protective equipment****Respiratory protection**

Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Hand protection

For prolonged or repeated contact use protective gloves.

Eye protection

Safety glasses

Hygiene measures

General industrial hygiene practice.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**Appearance**

Form crystalline

Colour yellow

Safety data

pH no data available

Melting point 197 - 203 °C

Boiling point no data available

Flash point no data available

Ignition temperature no data available

Lower explosion limit no data available

Upper explosion limit no data available

Water solubility no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

Aldrich - 124893

www.sigma-aldrich.com

Page 2 of 4

Storage stability

Stable under recommended storage conditions.

Materials to avoid

Strong oxidizing agents

Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION**Acute toxicity**

no data available

Irritation and corrosion

no data available

Sensitisation

no data available

Chronic exposure

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Signs and Symptoms of Exposure

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

Potential Health Effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.

12. ECOLOGICAL INFORMATION**Elimination information (persistence and degradability)**

no data available

Ecotoxicity effects

no data available

Further information on ecology

no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS**Product**

Observe all federal, state, and local environmental regulations.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION**ADR/RID**

Aldrich - 124893

www.sigma-aldrich.com

Page 3 of 4

Not dangerous goods

IMDG

Not dangerous goods

IATA

Not dangerous goods

15. REGULATORY INFORMATION

Labelling according to EC Directives

Further information:

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

16. OTHER INFORMATION

Further information

Copyright 2008 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only. The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Co., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

หมายเหตุ: เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกับของ Fluka ที่ได้เลิกการผลิตแล้ว



Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Date of issue: 29.01.2008
Supersedes edition of 05.03.2004

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Catalogue No.: 840083
Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

Use of the substance/preparation

Chemical for synthesis

Company/undertaking identification

Company: Merck Schuchardt OHG * 85662 Hohenbrunn * Germany *
Tel: +49 8102/802-0
Emergency telephone No.: Please contact the regional Merck representation
in your country.
Contact for information: EHSQ/EHS-PI * e-mail: prodsafe@merck.de

2. Hazards identification

Harmful in contact with skin and if swallowed. Irritating to eyes and skin. May cause sensitization by skin contact.

3. Composition/information on ingredients

Synonyms

2-Propenoic acid-2-methyl-(2-dimethylamino)ethyl ester

CAS-No.:	2867-47-2	EC-Index-No.:	607-132-00-3
M:	157.22 g/mol	EC-No.:	220-688-8
Formula Hill:	C ₈ H ₁₅ NO ₂		

4. First aid measures

After inhalation: fresh air.
After skin contact: wash off with plenty of water. Remove contaminated clothing. Call in physician.
After eye contact: rinse out with plenty of water with the eyelid held wide open. Call in ophthalmologist.
After swallowing: immediately make victim drink water (two glasses at the most). Call in physician.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 840083
 Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
 CO₂, foam, powder.

Special risks:
 Combustible. Vapours heavier than air.
 Forms explosive mixtures with air at elevated temperatures.
 Development of hazardous combustion gases or vapours possible in the event of fire. The following may develop in event of fire: nitrogen oxides.

Special protective equipment for fire fighting:
 Do not stay in dangerous zone without self-contained breathing apparatus. In order to avoid contact with skin, keep a safety distance and wear suitable protective clothing.

Other information:
 Contain escaping vapours with water. Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:
 Avoid substance contact. Do not inhale vapours/aerosols. Ensure supply of fresh air in enclosed rooms.

Environmental-protection measures:
 Do not allow to enter sewerage system.

Procedures for cleaning / absorption:
 Take up with liquid-absorbent material (e.g. Chemizorb®). Forward for disposal. Clean up affected area.

7. Handling and storage

Handling:

No further requirements.

Storage:

Tightly closed. Cool (+2°C to +8°C).

Protected from light.

8. Exposure controls/personal protection

Specific control parameter

EC	
Name	2-Dimethylaminoethyl methacrylate
Sensitization	Sh Danger of sensitization of the skin

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 840083
 Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

Respiratory protection: required when vapours/aerosols are generated. Filter A (acc. to DIN 3181) for vapours of organic compounds.

Eye protection: required

Hand protection: In full contact:
 Glove material: butyl rubber
 Layer thickness: 0.7 mm
 Breakthrough time: > 480 Min.
 In splash contact:
 Glove material: nitrile rubber
 Layer thickness: 0.40 mm
 Breakthrough time: > 120 Min.

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC directive 89/686/EEC and the resultant standard EN374, for example KCL 898 Butoject® (full contact), 730 Camatril® -Velours (splash contact). The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet and supplied by us as well as to the purpose specified by us. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Other protective equipment: Suitable protective clothing.

Industrial hygiene: Immediately change contaminated clothing. Apply skin- protective barrier cream. Wash hands and face after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form:	liquid		
Colour:	colourless to light yellow		
Odour:	of ammonia		
pH value	not available		
Viscosity dynamic	(20 °C)	1.32	mPa*s
Melting point		-50	°C
Boiling point	(1013 hPa)	182-192	°C
Ignition temperature		255	°C
Flash point		65	°C c.c.
Explosion limits	lower	1.20	Vol%
	upper	not available	
Vapour pressure	(20 °C)	1	hPa
	(50 °C)	5	hPa
Relative vapour density	(20 °C)	6.5	
Density	(20 °C)	0.93	g/cm ³
Solubility in water	(20 °C)	500	g/l

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 840083
 Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

log Pow (25 °C) 1.13 (OECD 107)

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

Moisture.

Heating. A range from approx. 15 Kelvin below the flash point is to be rated as critical.

Substances to be avoided

Risk of ignition or formation of inflammable gases or vapors with: strong oxidizing agents. Violent reactions possible with: polymerization initiators, peroxi compounds, strong reducing agents, strong alkalis and strong acids.

Hazardous decomposition products

in the event of fire: See chapter 5.

Stabilizer

hydroquinone monomethyl ether (4-methoxyphenol).

Further information

light-sensitive, sensitive to moisture;
 unsuitable working materials: copper, rubber.
 explosible with air in a vaporous/gaseous state when heated

11. Toxicological information

Acute toxicity

LD₅₀ (dermal, rat): >2000 mg/kg (OECD 402).
 LD₅₀ (oral, rat): 1751 mg/kg (RTECS).

Specific symptoms in animal studies:

Eye irritation test (rabbit): Severe irritations (External MSDS).

Skin irritation test (rabbit): Irritations (External MSDS).

The literature data available to us do not conform with the labelling prescribed by the EC. The EC has dossiers which have not been published.

Subacute to chronic toxicity

Sensitization:

Sensitization test (guinea pig): negative. (OECD 406)

Bacterial mutagenicity: Salmonella typhimurium: negative. (OECD 471)

Mutagenicity (mammal cell test): negative. (OECD 476)

Mutagenicity (mammal cell test): micronucleus negative. (OECD 474)

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 840083
 Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

Further toxicological information

After inhalation: Irritations of the mucous membranes, coughing, and dyspnoea. Inhalation may lead to the formation of oedemas in the respiratory tract.

After skin contact: Irritations, absorption. After long-term exposure to the chemical: May cause sensitization.

After eye contact: Severe irritations. Lacrimal irritation due to vapours. Risk of corneal clouding.

After swallowing: irritations of mucous membranes in the mouth, pharynx, oesophagus and gastrointestinal tract. Nausea, vomiting, absorption.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

12. Ecological information

Biologic degradation:
 Biodegradation: 95.3 % /28 d (OECD 301 E)
 Readily biodegradable.

Behavior in environmental compartments:

Distribution: log Pow: 1.13 (25 °C) (OECD 107).

No appreciable bioaccumulation potential is to be expected (log Pow 1-3).

Ecotoxic effects:

Fish toxicity: *O.latipes* LC₅₀: 19.1 mg/l /96 h (OECD 203).

Daphnia toxicity: *Daphnia magna* EC₅₀: 33 mg/l /48 h (OECD 202).

Bacterial toxicity: *Ps.putida* EC₁₀: 42.7 mg/l /18 h (IUCLID).

Algal toxicity: *Pseudokirchneriella subcapitata* IC₅₀: 41.8 mg/l /72 h (OECD 201).

Further ecologic data:

Do not allow to enter waters, waste water, or soil!

13. Disposal considerations

Product:

Chemicals must be disposed of in compliance with the respective national regulations. Under www.retrologistik.de you will find country- and substance-specific information as well as contact partners.

Packaging:

Merck product packaging must be disposed of in compliance with the country-specific regulations or must be passed to a packaging return system. Under www.retrologistik.de you will find special information on the respective national conditions as well as contact partners.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 840083
 Product name: (2-Dimethylaminoethyl) methacrylate (stabilised with hydroquinone monomethyl ether) for synthesis

14. Transport information

Road & Rail ADR, RID
 UN 2522 2-DIMETHYLAMINOETHYLMETHACRYLAT, 6.1, II

Inland waterway ADN, ADNR not tested

Sea IMDG-Code
 UN 2522 2-DIMETHYLAMINOETHYL METHACRYLATE, 6.1, II
 Ems F-A S-A

Air CAO, PAX
 UN 2522 2-DIMETHYLAMINOETHYL METHACRYLATE, 6.1, II

The transport regulations are cited according to international regulations and in the form applicable in Germany. Possible national deviations in other countries are not considered.

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol:	Xn	Harmful
R-phrases:	21/22-36/38-43	Harmful in contact with skin and if swallowed. Irritating to eyes and skin. May cause sensitization by skin contact.
S-phrases:	26-28	In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. After contact with skin, wash immediately with plenty of water.
EC-No.:	220-688-8	EC label

Reduced labelling (1999/45/EC, Art. 10, 4)

Symbol:	Xn	Harmful
R-phrases:	21/22-43	Harmful in contact with skin and if swallowed. May cause sensitization by skin contact.
S-phrases:	---	

16. Other information

Reason for alteration

Chapter 9: change/addition in physical/chemical properties.
 Chapter 10: stability and reactivity.
 Chapter 11: toxicological information.
 Chapter 12: ecological information.

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterizes the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of the properties of the product.



Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Date of issue: 18.08.2008
Supersedes edition of 26.06.2007

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Catalogue No.: 106449
Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS.ISO,Reag. Ph Eur

Use of the substance/preparation

Reagent for analysis
Chemical production
Pharmaceutical production and analysis

Company/undertaking identification

Company: Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone: +49 6151 72-0
Emergency telephone No.: Please contact the regional Merck representation in your country.
Contact for information: EHSQ/EHS-PI * e-mail:prodsafe@merck.de

2. Hazards identification

Toxic if swallowed. Contact with acids liberates very toxic gas. Irritating to eyes and skin.

3. Composition/information on ingredients

CAS-No.:	7681-49-4	EC-Index-No.:	009-004-00-7
M:	41.99 g/mol	EC-No.:	231-667-8
Formula Hill:	FNa		
Chemical formula:	NaF		

4. First aid measures

After inhalation: fresh air.
After skin contact: wash off with plenty of water. Remove contaminated clothing. Call in physician.
After eye contact: rinse out with plenty of water with the eyelid held wide open. Call in ophthalmologist.
If swallowed: give water to drink (two glasses at the most). Seek medical advice immediately. In exceptional cases only, if medical care is not available within one hour, induce vomiting (only in persons who are wide awake and fully conscious), administer activated charcoal (20 - 40 g in a 10% slurry) and consult a doctor as quickly as possible.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 106449
Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS,ISO,Reag. Ph Eur

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
In adaption to materials stored in the immediate neighbourhood.

Special risks:
Non-combustible. Development of hazardous combustion gases or vapours possible in the event of fire. The following may develop in event of fire: hydrogen fluoride.

Special protective equipment for fire fighting:
Do not stay in dangerous zone without self-contained breathing apparatus. In order to avoid contact with skin, keep a safety distance and wear suitable protective clothing.

Other information:
Contain escaping vapours with water. Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:
Avoid substance contact. Avoid inhalation of dusts. Ensure supply of fresh air in enclosed rooms.

Environmental-protection measures:
Do not allow to enter sewerage system.

Procedures for cleaning / absorption:
Take up dry. Forward for disposal. Clean up affected area. Avoid generation of dusts.

7. Handling and storage

Handling:

No further requirements.

Storage:

Tightly closed in a well-ventilated place. Accesible only for authorised persons. Dry. At +5°C to +30°C.

8. Exposure controls/personal protection

Specific control parameter

EC	
Name	Fluorides, inorganic
Value	2.5 mg/m ³

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiratory protection: required when dusts are generated. Filter B-(P3)

Eye protection: required

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 106449
Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Hand protection:

In full contact:
Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.11 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

In splash contact:
Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.11 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC directive 89/686/EEC and the resultant standard EN374, for example KCL 741 Dermatril® L (full contact), 741 Dermatril® L (splash contact). The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet and supplied by us as well as to the purpose specified by us. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Other protective equipment: Suitable protective clothing.

Industrial hygiene:

Immediately change contaminated clothing. Apply skin- protective barrier cream. Wash hands and face after working with substance. Under no circumstances eat or drink at workplace. Work under hood. Do not inhale substance.

9. Physical and chemical properties

Form:	crystals		
Colour:	colourless		
Odour:	odourless		
pH value at 40 g/l H ₂ O	(20 °C)	~ 10.2	
Melting point		993	°C
Boiling point		1704	°C
Ignition temperature		not applicable	
Flash point		not applicable	
Explosion limits	lower	not applicable	
	upper	not applicable	
Vapour pressure	(1077 °C)	1	hPa
Density	(20 °C)	2.8	g/cm ³
Solubility in water	(20 °C)	42	g/l
log Pow		-0.77	(calculated) (Lit.)

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 106449
Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS,ISO,Reag. Ph Eur

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

Heating (decomposition).

Substances to be avoided

Generates dangerous gases or fumes in contact with: acids (Formed could be: hydrogen fluoride).

Hazardous decomposition products
in the event of fire: See chapter 5.

Further information

unsuitable working materials: glass.

11. Toxicological information

Acute toxicity

LD₅₀ (oral, rat): 31 mg/kg (RTECS).
LDLo (oral, human): 71 mg/kg (RTECS).

Subacute to chronic toxicity

Noncarcinogenic in animal experiments. (External MSDS)
Mutagenicity (mammal cell test): micronucleus negative. (National Toxicology Program)
Bacterial mutagenicity: Salmonella typhimurium: negative. (National Toxicology Program)

Further toxicological information

Decomposition of the substance with tissue moisture.

After inhalation of dust: mucosal irritations, coughing, respiratory arrest.
After skin contact: Severe irritations. Causes poorly healing wounds.
After eye contact: Severe irritations. Risk of corneal clouding.
After swallowing: Burns of: mouth, oesophagus, gastrointestinal tract, pain, vomiting, spasms, shock.

Systemic effects: cardiac dysrhythmia, respiratory arrest, death.

Other notes:

The following applies to soluble inorganic fluorides in general; may cause irritations to burns in contact with eyes, skin, mucous membranes. Systemic effect: drop in blood calcium level, agitation, spasms, cardiovascular disorders, CNS disorders.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 106449
 Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS,ISO,Reag. Ph Eur

12. Ecological information

Biologic degradation:
 Methods for the determination of biodegradability are not applicable to inorganic substances.

Ecotoxic effects:
 Biological effects:
 Forms toxic and corrosive mixtures with water even if diluted. Hazard for drinking water supplies.

Fish toxicity: *Gambusia affinis* LC₅₀: 925 mg/l /96 h (IUCLID).
 Daphnia toxicity: *Daphnia magna* EC₅₀: 338 mg/l /48 h (IUCLID).
 Algeal toxicity: *Desmodesmus subspicatus* IC₅₀: 850 mg/l /72 h (IUCLID).
 Bacterial toxicity: activated sludge EC₅₀: 2930 mg/l /3 h (IUCLID).
 Maximum permissible toxic concentration:
 Bacterial toxicity: *Ps.putida* EC₀: 231 mg/l /16 h (referred to the anion) (IUCLID).
 Protozoa: *E.sulcatum* EC₅: 101 mg/l (Hommel).

Further ecologic data:
 Do not allow to enter waters, waste water, or soil!

13. Disposal considerations

Product:

Chemicals must be disposed of in compliance with the respective national regulations. Under www.retrologistik.de you will find country- and substance-specific information as well as contact partners.

Packaging:

Merck product packaging must be disposed of in compliance with the country-specific regulations or must be passed to a packaging return system. Under www.retrologistik.de you will find special information on the respective national conditions as well as contact partners.

14. Transport information

Road & Rail ADR, RID
 UN 1690 NATRIUMFLUORID, FEST, 6.1, III

Inland waterway ADN, ADNR not tested

Sea IMDG-Code
 UN 1690 SODIUM FLUORIDE, SOLID, 6.1, III
 Ems F-A S-A

Air CAO, PAX
 UN 1690 SODIUM FLUORIDE, SOLID, 6.1, III

The transport regulations are cited according to international regulations and in the form applicable in Germany. Possible national deviations in other countries are not considered.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 106449
 Product name: Sodium fluoride GR for analysis ACS,ISO,Reag. Ph Eur

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol:	T	Toxic
R-phrases:	25-32-36/38	Toxic if swallowed. Contact with acids liberates very toxic gas. Irritating to eyes and skin.
S-phrases:	22-36-45	Do not breathe dust. Wear suitable protective clothing. In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).
EC-No.:	231-667-8	EC label

Reduced labelling (1999/45/EC, Art. 10, 4)

Symbol:	T	Toxic
R-phrases:	25-32	Toxic if swallowed. Contact with acids liberates very toxic gas.
S-phrases:	45	In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).

16. Other information

Reason for alteration

Chapter 1: change in product name.

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterizes the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of the properties of the product.



Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Date of issue: 28.04.2008
Supersedes edition of 31.10.2006

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Catalogue No.: 102840
Product name: Calcium fluoride precipitated pure

Use of the substance/preparation

Chemical production

Company/undertaking identification

Company: Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone: +49 6151 72-0
Emergency telephone No.: Please contact the regional Merck representation in your country.
Contact for information: EHSQ/EHS-PI * e-mail: prodsafe@merck.de

2. Hazards identification

No hazardous product as specified in Directive 67/548/EEC.

3. Composition/information on ingredients

CAS-No.: 7789-75-5
M: 78.08 g/mol
Formula Hill: CaF₂
EC-No.: 232-188-7

4. First aid measures

After inhalation: fresh air.
After skin contact: wash off with plenty of water. Remove contaminated clothing.
After eye contact: rinse out with plenty of water with the eyelid held wide open.
After swallowing: immediately make victim drink water (two glasses at the most). Call in physician.

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
In adaption to materials stored in the immediate neighbourhood.

Special risks:
Non-combustible. Ambient fire may liberate hazardous vapours. The following may develop in event of fire: hydrogen fluoride.

Special protective equipment for fire fighting:
Do not stay in dangerous zone without self-contained breathing apparatus. In order to avoid contact with skin, keep a safety distance and wear suitable protective clothing.

Other information:
Contain escaping vapours with water. Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 102840
Product name: Calcium fluoride precipitated pure

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:
Avoid inhalation of dusts. Avoid substance contact.

Environmental-protection measures:
Do not allow to enter sewerage system.

Procedures for cleaning / absorption:
Take up dry. Forward for disposal. Clean up affected area. Avoid generation of dusts.

7. Handling and storage

Handling:

Store dry and tightly closed. Protect from moisture.
No further requirements.

Storage:

Tightly closed. Dry. Storage temperature: no restrictions.

8. Exposure controls/personal protection

Specific control parameter

EC	
Name	Fluorides, inorganic
Value	2.5 mg/m ³

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiratory protection: required when dusts are generated.

Eye protection: required

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 102840
Product name: Calcium fluoride precipitated pure

Hand protection:

In full contact:

Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.11 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

In splash contact:

Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.11 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC directive 89/686/EEC and the resultant standard EN374, for example KCL 741 Dermatril® L (full contact), 741 Dermatril® L (splash contact). The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet and supplied by us as well as to the purpose specified by us. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Industrial hygiene:

Change contaminated clothing. Wash hands after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form:	solid		
Colour:	white		
Odour:	odourless		
pH value at 100 g/l H ₂ O	(20 °C)	~ 4	(slurry)
Melting point		1418	°C
Boiling point		2513	°C
Ignition temperature		not available	
Flash point		not applicable	
Explosion limits	lower	not available	
	upper	not available	
Density	(20 °C)	3.18	g/cm ³
Bulk density		~ 350-450 kg/m ³	
Solubility in water	(18 °C)	0.016	g/l

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 102840
Product name: Calcium fluoride precipitated pure

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

Heating (decomposition).

Substances to be avoided

Violent reactions possible with: acids (Release of: fluorine, hydrogen fluoride).

Hazardous decomposition products
in the event of fire: See chapter 5.

11. Toxicological information

Acute toxicity

LC₅₀ (inhalation, rat): >5 mg/l /4 h (Lit.).
LD₅₀ (oral, rat): 4250 mg/kg (RTECS).

Specific symptoms in animal studies:

Eye irritation test (rabbit): No irritation (OECD 405).
Skin irritation test (rabbit): No irritation (OECD 404).

Further toxicological information

Hazardous properties cannot be excluded, but are relatively improbable due to the compound's poor water solubility.

Cannot be excluded:
After skin contact: Danger of skin absorption.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

12. Ecological information

Biologic degradation:

Methods for the determination of biodegradability are not applicable to inorganic substances.

Ecotoxic effects:

Quantitative data on the ecological effect of this product are not available.

Further ecologic data:

The following applies to inorganic fluorides in general: biological effects: fish: *L. idus* LC₅₀ 660 mg/l; bacteria: *Ps. putida* toxic as from 231 mg/l ; algae: *Sc. quadricauda* toxic as from 249 mg/l ; protozoa: *E. sulcatum* toxic as from 101 mg/l ; *U. parduuzzi* toxic as from 71 mg/l (all values as NaF). Hazard from drinking water.

Do not allow to enter waters, waste water, or soil!

13. Disposal considerations

Product:

Chemicals must be disposed of in compliance with the respective national regulations. Under www.retrologistik.de you will find country- and substance-specific information as well as contact partners.

Merck Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No.1907/2006 (REACH)

Catalogue No.: 102840
Product name: Calcium fluoride precipitated pure

Packaging:

Merck product packaging must be disposed of in compliance with the country-specific regulations or must be passed to a packaging return system. Under www.retrologistik.de you will find special information on the respective national conditions as well as contact partners.

14. Transport information

Not subject to transport regulations.

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol: ---
R-phrases: ---
S-phrases: ---

16. Other information

Reason for alteration

Chapter 11: toxicological information.

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterizes the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of the properties of the product.

EU Safety Data Sheet

Triplex Hot Polymer



Date of issue / Reference	23.04.2007	lise / Version 5	
Replaces version of	10.01.2007	lise	
Date of printing	23.04.2007	Sheet No. 1181	Page 1 of 5

Company	Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, FL - 9494 Schaan Principality of Liechtenstein
---------	---

1 Commercial product name and supplier

1.1	Commercial product name / Designation	Triplex Hot Polymer
1.2	Application / Use	Denture base material
1.3	Producer	Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, FL - 9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein
1.4	Supplier	
1.5	TOX emergency number	Emergency-Call: +423 / 235 35 35 Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein

2 Composition

2.1	Chemical characterization	Powder of polymethylmethacrylate, pigments and catalysts
2.2	Hazardous components	
	CAS No. 94-36-0	0.5 - 1.5 % Benzoylperoxide Xi: Irritant. E: Explosive. R2: Risk of explosion by shock, friction, fire or other sources of ignition. R36: Irritating to eyes. R43: May cause sensitisation by skin contact
2.3	Further information	None.

3 Hazards identification

Dust generation. Avoid breathing dust.

4 First aid measures

4.1	Eye contact	Flush with plenty of water. Consult a physician if irritation persists.
4.2	Skin contact	Wash thoroughly with soap and water.
4.3	Ingestion	Give large amounts of water.
4.4	Inhalation	Take into fresh air. If respiratory irritation is experienced, call a physician.
4.5	Further information	

5 Fire-fighting measures

5.1	Suitable extinguishing media	Water fog. Extinguishing powder. Carbon dioxide.
5.2	Extinguishing media to avoid	Do not use direct water stream.

EU Safety Data Sheet

Triplex Hot Polymer



Date of issue / Reference 23.04.2007 lise / Version 5
 Replaces version of 10.01.2007 lise
 Date of printing 23.04.2007 **Sheet No. 1181**

Page 2 of 5

5.3 Further information None.

6 Accidental release measures Clean up mechanically.

7 Handling and storage

7.1 Handling Only adequately trained personnel should handle this product.
Avoid dust build-up.

7.2 Industrial hygiene Usual hygienic measures for dental practice.
Avoid breathing dust.

7.3 Storage Store in a well ventilated, cool, dry area.

7.4 Place of storage Avoid exposure to direct sunlight.
Store under dry conditions (12-28 °C / 54-82 °F).

7.5 Fire- and explosion-protection

8 Exposure controls / Personal protection

8.1 Technical measures Provide adequate local ventilation.

8.2 Control of threshold limits Producer Industry recommends an exposure limit of 10 mg/m³.

8.3 Personal protective equipment

8.3.1 Respiratory protection Avoid breathing dust.

8.3.2 Hand protection Gloves.

8.3.3 Eye protection Safety goggles.

8.3.4 Other

9 Physical and chemical properties

9.1 Appearance powder

9.2 Colour white or pink

9.3 Odour none

9.4 Change of physical state Test method:

9.5 Density 1,2 g/cm³ (20°C)

9.6 Vapour pressure not applicable

9.7 Viscosity not applicable

EU Safety Data Sheet

Triplex Hot Polymer



Date of issue / Reference 23.04.2007 lise / Version 5
 Replaces version of 10.01.2007 lise
 Date of printing 23.04.2007 **Sheet No. 1181**

Page 3 of 5

9.8 Solubility

Solubility in water

non soluble

9.9 pH

not applicable

9.10 Flash point

> 250 °C

9.11 Ignition temperature

> 400 °C

9.12 Explosion limits

Lower:
 Upper:
 not determined

9.13 Further information

None.

10 Stability and reactivity**10.1 Thermal decomposition**

> 250 °C

10.2 Hazardous decomposition products

Product may decompose at elevated temperatures generating vapours which could be irritating (Methylmethacrylate).
 None, if used in accordance to instructions.

10.3 Hazardous reactions

none known

10.4 Further information

None.

11 Toxicological information**11.1 Acute toxicity**

Polymethylmethacrylate: The oral LD50 for rats is > 10'000 mg/kg.
 Benzoylperoxide: The oral LD50 for rats is > 7'710 mg/kg.

11.2 Subacute / Chronic toxicity

In rare cases can cause an allergic reaction.
 No adverse effects anticipated by this route of exposure incidental to proper industrial handling.

11.3 Further information

Dust can irritate eyes and respiratory passages.

12 Ecological information

Non soluble in water.
 German 'Wassergefährdungs Klasse (WGK): not dangerous to water
 No ecological problems to be anticipated if properly handled and used.

EU Safety Data Sheet

Triplex Hot Polymer



Date of issue / Reference 23.04.2007 lise / Version 5
 Replaces version of 10.01.2007 lise
 Date of printing 23.04.2007 **Sheet No. 1181**

Page 4 of 5

13 Disposal considerations Take to an approved landfill or a waste incineration plant, under conditions approved by the local authority.

13.1 EU waste key 20 01 39

14 Transport information

14.1	Transport at land	ADR	---	RID	---
		UN Number	---	Kemler Number	---
		Packing Group	---		
		Proper shipping name			
14.2	Transport at sea	ADNR	---	IMDG	---
		UN Number	---		
		EMS	---	MFAG	---
		Packing Group	---		
		Proper shipping name	---		
14.3	Air transport	ICAO / IATA-DGR	---		
		UN Number	---		
		Proper shipping name	---		
		Subsidiary Risk	---		
		Labels	---		
		Packing Group	---		
	Passenger airplane	Packing Instructions	---		
		max.	---		
	Cargo Airplane	Packing Instructions	---		
		max.	---		
14.4	Further information	Product is not classified as a dangerous good for transport			

15 Regulatory information The product is a medical device according to the EC-directive 93/42/EEC.
 This product does not require classification as Dangerous Goods.

15.1 UN number ---

15.2 National regulations

15.3 EU number ---

15.4 Hazard symbols

15.5 Hazard designation

EU Safety Data Sheet

Triplex Hot Polymer



Date of issue / Reference	23.04.2007	lise / Version 5
Replaces version of	10.01.2007	lise
Date of printing	23.04.2007	Sheet No. 1181

Page 5 of 5

15.6	Risk phrases	
15.7	Safety phrases	
15.8	MAK value	--- ml/m ³ (ppm)
15.9	BVD classification (CH)	---
15.10	VbF (D)	---
15.11	Further information	None.

16	Other information	Version: 5 Changes: 2
-----------	--------------------------	--------------------------

The above mentioned data correspond to our present state of knowledge and experience. The safety data sheet serves as description of the products in regard to necessary safety measures. The indications do not have the meaning of guarantees on properties.

This safety data sheet has been generated with the safety database 'ChemManager'.
© ASSiST Applied Software Solutions in Science and Technology AG, Wehlerweg 3, CH-4104 Oberwil, Switzerland.

91/155/EEC

Reviewed on Oct.01, 2001

TOKUYAMA DENTAL CORP.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

(According to 91/155/EEC and OSHA regulation 29 CFR 1910.1200(g))

1. Identification of substance

Product name	REBASE AID
Description of Product	Denture Relining Material, For dental professionals only
Manufacturer	Tokuyama Dental Corp. 38-9, Taitou 1-chome, Taitou-ku, Tokyo, Japan
EC Representative (Emergency Contact in EU)	Tokuyama Europe GmbH Oststrasse 10, 40211 Dusseldorf, Germany Tel:+49 211 1754480, Fax:+49 211 357379
North America South America Middle East	J.MORITA USA, Inc. 9 Mason, Irvine, CA92618, U.S.A. Tel:(949)581 9600, Fax:(949)465 1095 Tel:(800)831 3222, E-mail:info@jmoritusa.com

2. Composition/Data on components

Ingredients	%	Cas. No.	Symbols	R-phrases	OSHA PEL
Methylene chloride	100	75-09-2	Xn	R40	25ppm

3. Hazard identification

Irritating to eyes, respiratory system and skin Repeated prolonged contact may cause skin inflammation.
--

4. First aid measures

After skin contact	Wash with soap and plenty of water.
After eye contact	Wash immediately with plenty of water. Get medical attention.
After swallowing	Do not induce vomiting. Induce drinking plenty of water and get medical attention.

5. Fire fighting measures

Suitable extinguishing media	Chemical foam, carbon dioxide or dry chemical
Media not to be used	None
Combustion products and resulting gases	Irritant gas may be released during heating or in case of fire.
Special precaution firefighters	Use protective clothing and a self-contained breathing apparatus.

6. Accidental release measures

Personal protection	Wear protective apparatus.
Environmental protection	Do not empty into drains.
Methods for cleaning up	Clean up with an inert absorbent, and dispose of at special waste collection point.

7. Handling and storage

Handling	Use in a well ventilated place.
Storage	Store in a cool, dark place(0°C-23°C).

8. Exposure controls/personal protection

In general	Not required
Respiration protection	Not required
Hand protection	Wear suitable protective gloves.
Eye protection	Wear suitable protective glasses.
Skin protection	Wear suitable protective clothing.

9. Physical and chemical properties

Appearance	Clear liquid	Explosive properties	(O ₂)66%-High,15.5%-Low
Odour	Spearmint odour	Oxidizing properties	None
PH	Neutral	Vapor pressure	465hPa at 20°C
Boiling point	40.2°C	Relative density	N/A
Melting point	-95.1°C	Solubility(water)	2.0g/water 100g
Flash point	None	Solubility(Solvent)	N/A
Flammability	None	Partition coefficient	N/A
Autoflammability	662°C	Others	—

10. Stability and reactivity

Conditions to avoid	Heat, sparks and open flames
Materials to avoid	Strong oxidizing agents
Hazardous reactions	Incomplete thermal decomposition may cause toxic gases.

11. Toxicological information

Inhalation	Irritation of the respiratory organs
Ingestion	—
Skin contact	Slight irritation, defatting action, repeated prolonged contact may cause inflammation.
Eye contact	Irritation, redness, pain
Carcinogenicity	Methylene chloride:Group 2B(IARC) (Human Inadequate Evidence, Animal Sufficient Evidence)
Others	Oral Rat LD50, more than 1,600mg/Kg

12. Ecological information

Biodegradability	N/A
Bioaccumulative	N/A
Aquatic toxicity	LC50:1,000-100mg/l(96Hrs.)
Others	—

13. Disposal consideration

Disposal must be made according to federal, state and local regulations.
--

14. Transport information

UN number	1593
Air transport	Harmful.
Sea transport	See section 2 and 15.
Inland transport	

15. Regulatory information

Marking according to EU regulations	67/548/EEC, 92/32/EEC
Contains	Methylene chloride
Symbols	Xn: Harmful
R-phrases	R40: Possible risks of irreversible effect
S-phrases	S23: Do not breath vapor. S24/25: Avoid contact with skin and eyes. S36/37: Wear suitable protective clothing and gloves.
Other	R and S-phrases are not marked according to contents not more than 125ml and the case not related to the general public(Article 23"Labeling" -3).

16. Other information

The information which is contained in this document is based on available data. However, as such has been obtained from various sources, including independent laboratories, it is given without warranty or representation that is complete, accurate and can be relied upon. Tokuyama Dental Corp. has not attempted to conceal in any way the deleterious aspects of the product listed herein, but makes no warranty as to such.
--

* N/E: Not Established, N/A: Not Available, N/R: Not Regulated by IARC

Thermo

SCIENTIFIC
166 Cummings Center
Beverly, MA 01915 USA
Telephone: 978-232-6000
CHEMTREC® 24 hr Emergency: US 800-424-9300; International 703-527-3887

Orion 940906 & 940907 Fluoride Standard 0.1 M NaF and 100 ppm F⁻ Material Safety Data Sheet

<p>I. PRODUCT IDENTIFICATION: Fluoride Standard 0.1 M NaF and 100 ppm F⁻</p> <p>Orion 940906 & 940907 PRODUCT USE: Standard NFPA RATINGS: HEALTH: 1 FLAMMABILITY: 0 REACTIVITY: 0</p> <p>II. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPONENT</th> <th></th> <th>%</th> <th>LD₅₀ mg/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Sodium Fluoride (NaF) 7681-49-4</td> <td><1</td> <td>31 (ORL-RAT)</td> </tr> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Deionized Water (H₂O) 7732-18-5</td> <td>>99</td> <td>190,000 (IPR-MUS)</td> </tr> </tbody> </table> <p>III. HAZARDS IDENTIFICATION</p> <p>TARGET ORGANS: Skin, eyes. ACUTE TOXICITY: Because of low concentration of salt (less than 1%), this product does not pose a serious acute hazard via skin and inhalation routes. In large doses (25-50 mg) may cause nausea, vomiting, diarrhea and CNS manifestation. CHRONIC TOXICITY: Because of low concentration of salt (less than 1%), this product does not pose a serious chronic hazard via skin and inhalation routes. MEDICAL CONDITIONS AGGRAVATED BY EXPOSURE: Anorexia, anemia, asthma, bone disease.</p> <p>IV. FIRST AID MEASURES</p> <p>EYE AND SKIN CONTACT: Wash skin, flush eyes with water for 15 minutes. Consult physician for eye contact INHALATION: Low hazard. INGESTION: Consult physician.</p> <p>V. FIRE FIGHTING MEASURES</p> <p>FLASH POINT: NA AUTOIGNITION POINT: NA FLAMMABILITY LIMITS: UPPER: NA LOWER: NA EXTINGUISHING MEDIA: Dry chemical, water, foam, or CO₂.</p> <p>VI. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES</p> <p>Clean up and set aside for waste disposal.</p> <p>VII. HANDLING AND STORAGE</p> <p>Always wear eye protection and gloves when working with this product.</p> <p>Keep sealed and store at room temperature.</p> <p>VIII. EXPOSURE CONTROLS/ PERSONAL PROTECTION</p> <p>OSHA & ACGIH THRESHOLD LIMIT: None listed. PROTECTIVE EQUIPMENT: Safety glasses, lab coat and gloves.</p> <p>IX. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES</p> <p>STATE: Clear liquid ODOR THRESHOLD: None SENSITIVITY TO MECHANICAL IMPACT: None SENSITIVITY TO STATIC DISCHARGE: None COEFFICIENT OF OIL/WATER DISTRIBUTION: None SOLUBILITY IN WATER: Soluble pH: 5.5 - 7.5 SPECIFIC GRAVITY: 1.0 BOILING POINT: 100°C MELTING POINT: Not determined VAPOR DENSITY: Not determined</p>	COMPONENT		%	LD ₅₀ mg/kg	CAS NO.	Sodium Fluoride (NaF) 7681-49-4	<1	31 (ORL-RAT)	CAS NO.	Deionized Water (H ₂ O) 7732-18-5	>99	190,000 (IPR-MUS)	<p>X. STABILITY AND REACTIVITY</p> <p>Product is stable. Hazardous polymerization will not occur. Incompatibles: Perchlorates. Hazardous decomposition product: Toxic fumes if heated to decomposition or mixed with acids.</p> <p>XI. TOXICOLOGICAL INFORMATION</p> <p>Route of Exposure: Nausea, weakness, cramp-like pains. Teratogen Status: None Mutagen Status: None Reproductive Toxicity: None Carcinogen Status: None</p> <p>XII. ECOLOGICAL INFORMATION</p> <p>None available.</p> <p>XIII. DISPOSAL CONSIDERATIONS</p> <p>Dispose of in a manner consistent with Federal, State and Local Regulations.</p> <p>XIV. TRANSPORT INFORMATION</p> <p>Product is not hazardous for transport.</p> <p>XV. REGULATORY INFORMATION</p> <p>EUROPEAN INFORMATION: RISK PHRASE: R32 contact with acids liberates very toxic gases. US/ CANADA INFORMATION SARA/Title III: Sodium fluoride is a CERCLA hazard RQ - 1000#. Cal. Proposition 65: Ingredients not listed. US TSCA Inventory: Ingredients are listed. CPR Class: None. TDG Class: None. MSDS discloses elements required by the CPR.</p> <p>XVI. OTHER INFORMATION</p> <p>THE ABOVE INFORMATION IS BELIEVED TO BE ACCURATE AND REPRESENTS THE BEST INFORMATION CURRENTLY AVAILABLE TO US. ALL PRODUCTS ARE OFFERED IN ACCORDANCE WITH THE MANUFACTURER'S CURRENT PRODUCTION SPECIFICATIONS AND ARE INTENDED SOLELY FOR USE IN ANALYTICAL TESTING. THE MANUFACTURER SHALL IN NO EVENT BE LIABLE FOR ANY INJURY, LOSS OR DAMAGE RESULTING FROM THE HANDLING, USE OR MISUSE OF THESE PRODUCTS.</p> <p>MSDS prepared by Quality Assurance Group.</p> <p>Document Number 205457-001 Rev. P Effective Date: December 18, 2007</p>
COMPONENT		%	LD ₅₀ mg/kg										
CAS NO.	Sodium Fluoride (NaF) 7681-49-4	<1	31 (ORL-RAT)										
CAS NO.	Deionized Water (H ₂ O) 7732-18-5	>99	190,000 (IPR-MUS)										

Thermo

SCIENTIFIC
166 Cummings Center
Beverly, MA 01915 USA
Telephone: 978-232-6000
CHEMTREC® 24 hr Emergency: US 800-424-9300; International 703-527-3887

Orion 940911 TISAB III Concentrate with CDTA Material Safety Data Sheet

<p>I. PRODUCT IDENTIFICATION: TISAB III Concentrate with CDTA Total Ionic Strength Adjustment Buffer</p> <p>Orion 940911 PRODUCT USE: Reagent NFPA RATINGS: HEALTH: 1 FLAMMABILITY: 1 REACTIVITY: 0</p> <p>II. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPONENT</th> <th></th> <th>%</th> <th>LD₅₀ mg/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Ammonium Chloride (NH₄Cl) 12125-02-9</td> <td>26</td> <td>1,650 (ORL-RAT)</td> </tr> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Ammonium Acetate (NH₄C₂H₃O₂) 631-61-8</td> <td>5</td> <td>None found</td> </tr> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Cresol Red (C₂₁H₁₉O₅S) 62625-29-0</td> <td><1</td> <td>None found</td> </tr> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Trans-1,2-Diamino Cyclohexane Tetra Acetic Acid (CDTA) (Monohydrate) 13291-61-7</td> <td>2</td> <td>None found</td> </tr> <tr> <td>CAS NO.</td> <td>Deionized Water (H₂O) 7732-18-5</td> <td>>66</td> <td>190,000 (IPR-MUS)</td> </tr> </tbody> </table> <p>III. HAZARDS IDENTIFICATION</p> <p>TARGET ORGANS: None. ACUTE TOXICITY: Ingestion may cause nausea, vomiting, and acidosis. CHRONIC TOXICITY: Difficulty breathing, weakness, generally low hazard for skin and inhalation; however, repeated exposure may cause skin irritation and breathing difficulties. MEDICAL CONDITIONS AGGRAVATED BY EXPOSURE: Respiratory ailments and stomach ailments.</p> <p>IV. FIRST AID MEASURES</p> <p>EYE AND SKIN CONTACT: Irrigate with plenty of water. INHALATION: Fresh air, artificial respiration if needed. INGESTION: Dilute with large amounts of water. Consult physician.</p> <p>V. FIRE FIGHTING MEASURES</p> <p>FLASH POINT: NA AUTOIGNITION POINT: NA FLAMMABILITY LIMITS: UPPER: NA LOWER: NA EXTINGUISHING MEDIA: Dry chemical, CO₂, alcohol foam or mist.</p> <p>VI. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES</p> <p>Vacuum up and set aside for waste disposal.</p> <p>VII. HANDLING AND STORAGE</p> <p>Always wear eye protection and gloves when working with this product.</p> <p>Keep well sealed and store at room temperature.</p> <p>VIII. EXPOSURE CONTROLS/ PERSONAL PROTECTION</p> <p>OSHA & ACGIH THRESHOLD LIMIT: Ammonium Chloride: 10 mg/m³. PROTECTIVE EQUIPMENT: Safety glasses, lab coat and gloves.</p> <p>IX. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES</p> <p>STATE: Orange liquid ODOR THRESHOLD: slight odor SENSITIVITY TO MECHANICAL IMPACT: None SENSITIVITY TO STATIC DISCHARGE: None COEFFICIENT OF OIL/WATER DISTRIBUTION: None SOLUBILITY IN WATER: Soluble pH: 4.8 – 5.2 SPECIFIC GRAVITY: 1.20 BOILING POINT: 100°C MELTING POINT: Not determined VAPOR DENSITY: Not determined</p>	COMPONENT		%	LD ₅₀ mg/kg	CAS NO.	Ammonium Chloride (NH ₄ Cl) 12125-02-9	26	1,650 (ORL-RAT)	CAS NO.	Ammonium Acetate (NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂) 631-61-8	5	None found	CAS NO.	Cresol Red (C ₂₁ H ₁₉ O ₅ S) 62625-29-0	<1	None found	CAS NO.	Trans-1,2-Diamino Cyclohexane Tetra Acetic Acid (CDTA) (Monohydrate) 13291-61-7	2	None found	CAS NO.	Deionized Water (H ₂ O) 7732-18-5	>66	190,000 (IPR-MUS)	<p>X. STABILITY AND REACTIVITY</p> <p>Product is stable. Hazardous polymerization will not occur. Incompatibles: Oxidizers, hypochlorite bleaches, NH₄, NO₂, KClO₃. Hazardous decomposition product: Emits toxic fumes when heated to decomposition.</p> <p>XI. TOXICOLOGICAL INFORMATION</p> <p>Route of Exposure: Coughing, dyspnea, irritation of upper respiratory tract and stomach. Teratogen Status: None Mutagen Status: None Reproductive Toxicity: None Carcinogen Status: None</p> <p>XII. ECOLOGICAL INFORMATION</p> <p>None available.</p> <p>XIII. DISPOSAL CONSIDERATIONS</p> <p>Dispose of in a manner consistent with Federal, State and Local Regulations.</p> <p>XIV. TRANSPORT INFORMATION</p> <p>Product is not hazardous for transport.</p> <p>XV. REGULATORY INFORMATION</p> <p>EUROPEAN INFORMATION: None.</p> <p>US/ CANADA INFORMATION</p> <p>SARA/Title III: Ammonium Acetate is a CERCLA hazard and is subject to section 304 of SARA Title III. Cal. Proposition 65: Ingredients not listed. US TSCA Inventory: Ingredients are listed. CPR Class: D2. TDG Class: None. MSDS discloses elements required by the CPR.</p> <p>XVI. OTHER INFORMATION</p> <p>THE ABOVE INFORMATION IS BELIEVED TO BE ACCURATE AND REPRESENTS THE BEST INFORMATION CURRENTLY AVAILABLE TO US. ALL PRODUCTS ARE OFFERED IN ACCORDANCE WITH THE MANUFACTURER'S CURRENT PRODUCTION SPECIFICATIONS AND ARE INTENDED SOLELY FOR USE IN ANALYTICAL TESTING. THE MANUFACTURER SHALL IN NO EVENT BE LIABLE FOR ANY INJURY, LOSS OR DAMAGE RESULTING FROM THE HANDLING, USE OR MISUSE OF THESE PRODUCTS.</p> <p>MSDS prepared by Quality Assurance Group.</p> <p>Document Number 205495-001 Rev. R Effective Date: January 27, 2009</p>
COMPONENT		%	LD ₅₀ mg/kg																						
CAS NO.	Ammonium Chloride (NH ₄ Cl) 12125-02-9	26	1,650 (ORL-RAT)																						
CAS NO.	Ammonium Acetate (NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂) 631-61-8	5	None found																						
CAS NO.	Cresol Red (C ₂₁ H ₁₉ O ₅ S) 62625-29-0	<1	None found																						
CAS NO.	Trans-1,2-Diamino Cyclohexane Tetra Acetic Acid (CDTA) (Monohydrate) 13291-61-7	2	None found																						
CAS NO.	Deionized Water (H ₂ O) 7732-18-5	>66	190,000 (IPR-MUS)																						

ภาคผนวก ข
ประกาศกระทรวง

ประกาศกระทรวง

	หน้า
1. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) เรื่อง นำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.....	182
2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ.....	185
3. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 199 (พ.ศ.2543) เรื่อง น้ำแร่ธรรมชาติ.....	190

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524)
เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6 (1)(2) และ (6) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำบริโภคและเครื่องดื่มเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน เงื่อนไข วิธีการผลิต และฉลาก ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2522

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 50 (พ.ศ.2523) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ.2523

ข้อ 2 ให้น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ

ข้อ 3 น้ำบริโภคต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์

(ก) สี ต้องไม่เกิน 20 ฮาเซนยูนิต

(ข) กลิ่น ต้องไม่มีกลิ่น แต่ไม่รวมถึงกลิ่นคลอรีน

(ค) ความขุ่น ต้องไม่เกิน 5.0 ซิลิกาสเกล

(ง) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต้องอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5

(2) คุณสมบัติทางเคมี

(ก) ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solid) ไม่เกิน 500.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร

(ข) ความกระด้างทั้งหมด โดยคำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่เกิน 100.0

มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร

(ค) สารหนู ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร

(ง) แบริยม ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร

(จ) แคดเมียม ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร

ความใน (จ) ถูกยกเลิกและใช้ความใหม่แทนแล้วโดยข้อ 1 แห่งประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135

(พ.ศ.2534)

- (จ) คลอไรด์ โดยคำนวณเป็นคลอรีน ไม่เกิน 250.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ข) โคเรียม ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ค) ทองแดง ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ง) เหล็ก ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ฉ) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
- ความใน (ฉ) และ (ญ) ถูกยกเลิกและใช้ความใหม่แทนแล้วโดยข้อ 2 แห่งประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534)

- (ฎ) แมงกานีส ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ฏ) ปรอท ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ฐ) ไนเตรท โดยคำนวณเป็นไนโตรเจน ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ฑ) ฟีนอล ไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ฒ) ซีลีเนียม ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ณ) เงิน ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ด) ซัลเฟต ไม่เกิน 250.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ต) สังกะสี ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
 - (ถ) ฟลูออไรด์ โดยคำนวณเป็นฟลูออรีน ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำบริโภค 1 ลิตร
- มีความเพิ่มขึ้นเป็น (ท) (ธ) และ (น) ของ (2) โดยข้อ 3 แห่งประกาศฯ ฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534)
- (3) คุณสมบัติเกี่ยวกับจุลินทรีย์
- (ก) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 2.2 ต่อน้ำบริโภค 100 มิลลิลิตร โดย

วิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

- (ข) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล
- (ค) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ข้อ 4 ภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุน้ำบริโภค ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ และจะต้องมีลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้ด้วย

- (1) เป็นภาชนะบรรจุที่ต้องมีฝาหรือจุกปิด เมื่อใช้บรรจุจะต้องปิดผนึกหรือผนึกโดยรอบระหว่างฝาหรือจุกกับขวดหรือภาชนะบรรจุ
 - (2) เป็นภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกซึ่งไม่ใช่ภาชนะบรรจุตาม (1)
- สิ่งที่ปิดผนึกหรือส่วนที่ปิดผนึกของภาชนะบรรจุตาม (1) และ (2) ต้องมีลักษณะที่เมื่อเปิดใช้ทำให้สิ่งที่ปิดผนึกหรือส่วนที่ปิดผนึกหรือภาชนะบรรจุนั้นเสียไป

ข้อ 5 การแสดงฉลากของน้ำบริโภค ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ประกาศฉบับนี้ไม่กระทบกระเทือนถึงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร ซึ่งออกให้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำบริโภคและเครื่องดื่มเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน เงื่อนไข วิธีการผลิต และฉลาก ลงวันที่ 13 กันยายน 2522 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 50 (พ.ศ.2523) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ.2523 และให้ผู้ที่ได้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขดังกล่าว มาดำเนินการแก้ไขตำรับอาหารให้มีรายละเอียดถูกต้องตามประกาศฉบับนี้ ภายในเก้าสิบวันนับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 7 กันยายน พ.ศ.2524

ส. พริ้งพวงแก้ว

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(98 ร.จ. 52 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ แผนมกราชกิจจานุ) ลงวันที่ 24 กันยายน พ.ศ.2524)

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๑๒ (พ.ศ. ๒๕๕๒)

ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๒๐

เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกัน
ด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

ด้วยปัจจุบันปรากฏว่า การวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำบาดาล หน่วยวัดความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในน้ำ เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม เกณฑ์อนุโลมสูงสุด และรายการวิเคราะห์ในมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้บางรายการไม่เหมาะสมและยังไม่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่ได้ปรับปรุงใหม่ในปัจจุบัน ฉะนั้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ (๑) แห่งพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๒๐ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติน้ำบาดาล (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการน้ำบาดาลออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุข และการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๔ (พ.ศ. ๒๕๒๑) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๒๐ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๑๐ (พ.ศ. ๒๕๓๙) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๒๐

ข้อ ๒ การป้องกันน้ำภายนอกไหลลงบ่อน้ำบาดาล

(๑) บ่อน้ำบาดาลทุกบ่อ ต้องฉนิกข้างบ่อตั้งแต่ตอนบนสุดนับจากผิวดินลึกลงไปไม่น้อยกว่า ๖ เมตร ด้วยซีเมนต์ล้วนหรือซีเมนต์ผสมทราย เพื่อป้องกันมิให้น้ำภายนอกไหลซึมลงข้างบ่อ

(๒) ในกรณีที่บ่อน้ำบาดาลอยู่ในที่ลุ่มหรืออยู่ต่ำกว่าบริเวณข้างเคียงจะต้องปรับบริเวณที่ตั้งบ่อให้สูงกว่าบริเวณข้างเคียงเพื่อป้องกันมิให้น้ำจากภายนอกไหลเข้ามาในบริเวณที่ตั้งบ่อ

(๓) ต้องทำลานคอนกรีตเป็นชานบ่อรอบปากบ่อน้ำบาดาลหนาไม่น้อยกว่า ๑๕ เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่ไม่น้อยกว่า ๔ ตารางเมตร และรอบชานบ่อจะต้องมีทางระบายน้ำออกจากบริเวณบ่อ

(๔) ในกรณีที่ระงับการใช้บ่อน้ำบาดาลชั่วคราวโดยการถอดถอนเครื่องสูบน้ำออกไปจะต้องปิดปากบ่อให้แน่นหนา เพื่อป้องกันมิให้สิ่งหนึ่งสิ่งใดตกลงไปในบ่อ

ข้อ ๓ คุณภาพของน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

(๑) น้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคต้องเป็นน้ำที่ได้ผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะจากกรมทรัพยากรธรณี หรือส่วนราชการอื่น หรือองค์การของรัฐที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์

คุณลักษณะของน้ำ หรือสถาบันอื่นที่ได้รับการรับรองคุณภาพมาตรฐาน มอก. ๑๓๐๐ - ๒๕๓๗ (ISO/IEC Guide๒๕) หรือสถาบันที่กรมทรัพยากรธรณีให้ความเห็นชอบตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กรมทรัพยากรธรณีกำหนด

(๒) น้ำบาดาลที่จะใช้บริโภค ต้องเป็นน้ำบาดาลที่มีคุณลักษณะทางกายภาพและคุณลักษณะทางเคมีไม่เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ท้ายประกาศนี้

(๓) ในท้องที่ที่กรมทรัพยากรธรณีกำหนด ต้องทำการวิเคราะห์หาคคุณลักษณะที่เป็นพิษโดยให้มีปริมาณไม่เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุด ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ท้ายประกาศนี้

(๔) ในกรณีที่มีความจำเป็นกรมทรัพยากรธรณีอาจสั่งให้วิเคราะห์คุณลักษณะทางบัคเตอรีก็ได้ โดยต้องมีคุณลักษณะทางบัคเตอรีไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้ท้ายประกาศนี้

ข้อ ๔ การฆ่าจุลินทรีย์ในบ่อน้ำบาดาล

(๑) หลังการเจาะบ่อน้ำบาดาล หรือหลังการติดตั้งเครื่องสูบน้ำบาดาล หรือหลังการซ่อมส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำบาดาลที่อยู่ในบ่อน้ำบาดาล ต้องทำการฆ่าจุลินทรีย์ในบ่อน้ำบาดาลที่จะใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

(๒) การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในบ่อน้ำบาดาลให้กระทำโดยกวนน้ำในบ่อน้ำบาดาล โดยใช้ปูนคลอรีน หรือก๊าซคลอรีน เป็นตัวฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยให้มีความเข้มข้นของคลอรีนไม่น้อยกว่า ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) ภายหลังกวนน้ำในบ่อน้ำบาดาลตาม (๒) ต้องปล่อยทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า ๑๒ ชั่วโมง แล้วสูบน้ำในบ่อน้ำบาดาลออกทิ้งจนหมดกลิ่นคลอรีน

ข้อ ๕ เครื่องสูบน้ำบาดาล

(๑) ต้องล้างอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของเครื่องสูบน้ำให้สะอาดก่อนใส่ลงไปในบ่อน้ำบาดาล

(๒) ในการติดตั้งเครื่องสูบน้ำทุกชนิด จะต้องอุดช่องที่ปากบ่อน้ำบาดาลระหว่างเครื่องสูบน้ำกับตัวบ่อน้ำบาดาลให้แน่น เพื่อป้องกันมิให้น้ำหรือมลสารอื่นใดจากภายนอกเข้าไปในบ่อน้ำบาดาลได้

ข้อ ๖ การเลิกใช้บ่อน้ำบาดาล

(๑) บ่อน้ำบาดาลที่เลิกใช้แล้ว ต้องอุดกลบด้วยซีเมนต์หรือดินเหนียวบริสุทธิ์ตั้งแต่ก้นบ่อจนถึงปากบ่อ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กรมทรัพยากรธรณีกำหนด

(๒) ในการอุดกลบบ่อน้ำบาดาลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกรุบ่อตอนบนสุดตั้งแต่ ๑๐๐ มิลลิเมตรขึ้นไป ต้องดำเนินการภายใต้การควบคุมรับผิดชอบของวิศวกรหรือนักธรณีวิทยาที่กรมทรัพยากรธรณีออกหนังสือรับรองให้ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่กรมทรัพยากรธรณีกำหนด

(๓) ต้องจัดทำรายงานการอุดกลบบ่อน้ำบาดาล ตามแบบที่กรมทรัพยากรธรณี

กำหนด แล้วส่งรายงานดังกล่าวให้พนักงานบำบัดน้ำประจําท้องถิ่นภายใน ๗ วัน นับแต่วันออกกลบ
บ่อน้ำบาดาลเสร็จ

ประกาศ ณ วันที่ ๑๐ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๒

สุวัจน์ ลิปตพัลลภ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

[ร.ก.๒๕๕๒/๒๙๙/๗/๑๓ เมษายน ๒๕๕๒]

-----+
-----+
มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

คุณลักษณะทางกายภาพ

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
สี (Colour) (หน่วยแพลททินัม - โคบอลต์)	5 (หน่วยแพลททินัม - โคบอลต์)	15
ความขุ่น (Turbidity)	5 (หน่วยความขุ่น)	20 (หน่วย
ความเป็นกรด - ต่าง (pH)	7.0 - 8.5	6.5
-9.2		

คุณลักษณะทางเคมี

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5	
1.0		
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3	0.5
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0	1.5
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	
15		
ซัลเฟต (SO ₄)	ไม่เกิน 200	250

คลอไรด์(Cl) 600	ไม่เกิน 250	
ฟลูออไรด์(F) 1.0	ไม่เกิน 0.7	
ไนเตรต(NO ₃)	ไม่เกิน 45	45
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO ₃)	ไม่เกิน 300	500
ความกระด้างถาวร 250 (Non - carbonate hardness as CaCo ₃)	ไม่เกิน 200	
ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ 1,200 (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 600	
คุณลักษณะที่เป็นพิษ		
รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
(มิลลิกรัมต่อลิตร)		
สารหนู(As) 0.05	ต้องไม่มี	
ไซยาไนด์(CN) ตะกั่ว(Pb) 0.05	ต้องไม่มี	0.1
ปรอท(Hg) 0.001	ต้องไม่มี	
แคดเมียม(Cd) 0.01	ต้องไม่มี	
ซีลีเนียม(Se) 0.01	ต้องไม่มี	
คุณลักษณะทาง bacteriological		
รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	
Standard plate count	ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
(ฉบับที่ 199) พ.ศ.2543
เรื่อง น้ำแร่ธรรมชาติ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำแร่
อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร
พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29
ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัย
อำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 146 (พ.ศ.2535) เรื่อง น้ำแร่ ลงวันที่
30 กันยายน พ.ศ.2535

ข้อ 2 ให้น้ำแร่ธรรมชาติในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน

ข้อ 3 น้ำแร่ธรรมชาติ หมายความว่า น้ำแร่ธรรมชาติที่ได้จากแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติและมีแร่ธาตุต่าง ๆ อยู่ตามคุณสมบัติสำหรับแหล่งน้ำนั้น ๆ

ข้อ 4 การผลิตน้ำแร่ธรรมชาติจะต้องกระทำภายในบริเวณแหล่งน้ำแร่ธรรมชาติแห่งนั้น ๆ เท่านั้น โดย
อาจจะนำไปผ่านกรรมวิธีการผลิตก่อนการบรรจุก็ได้ ซึ่งจะต้องกระทำตามกรรมวิธีการผลิต ดังต่อไปนี้

(1) การปรับปริมาณก๊าซที่มีอยู่ในน้ำแร่ธรรมชาติ
(2) การกำจัดสารประกอบที่ไม่คงตัว เช่น สารประกอบเหล็ก แมงกานีส กำมะถัน สารหนู เป็นต้น
ให้กำจัดโดยวิธีทำให้ตกตะกอน (decantation) และหรือโดยวิธีการกรอง (filtration) เท่านั้น แต่อาจมีการเติมอากาศ
(aeration) เพื่อเร่งการตกตะกอนและหรือการกรองตามความจำเป็นก่อนการกำจัดก็ได้

การผลิตน้ำแร่ตามวรรคหนึ่งต้องไม่ทำให้สารประกอบที่สำคัญในน้ำแร่ธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป

ข้อ 5 น้ำแร่ธรรมชาติ ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- (1) ใส ไม่มีตะกอน
- (2) แร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำแร่ธรรมชาติต้องมีปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังต่อไปนี้
 - (2.1) ทองแดง ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.2) แมงกานีส ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.3) บอเรต โดยคำนวณเป็นโบรอน ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.4) สารหนู โดยคำนวณเป็นสารหนูทั้งหมดไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.5) แคลเซียม ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.6) แคดเมียม ไม่เกิน 0.003 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.7) โครเมียม โดยคำนวณเป็นโครเมียมทั้งหมดไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.8) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.9) ปะอท ไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.10) ซีลีเนียม ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.11) ไนเตรต โดยคำนวณเป็นไนเตรต ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.12) ฟลูออรีน ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (2.13) นิเกิล ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
- (3) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้
 - (3.1) ไซยาไนด์ ไม่เกิน 0.07 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (3.2) ไนไตรต์ โดยคำนวณเป็นไนไตรต์ ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร
 - (3.3) ไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

- (3.4) ไม่พบโพลีคลอริเนตเตดไบฟีนีล (polychlorinated biphenyls)
- (3.5) ไม่พบสารลดการตึงผิว (surface active agents)
- (3.6) ไม่พบน้ำมันแร่ (mineral oil)
- (3.7) ไม่พบโพลีนิวเคลียร์อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polynuclear aromatic hydrocarbons)
- (4) คุณสมบัติทางจุลินทรีย์
 - (4.1) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2.2 ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 100 มิลลิลิตร โดยวิธีเอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

- (4.2) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*)
- (4.3) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ข้อ 6 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าน้ำแร่ธรรมชาติเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 7 การใช้ภาชนะบรรจุน้ำแร่ธรรมชาติ นอกจากต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ แล้ว ภาชนะบรรจุน้ำแร่ธรรมชาติจะต้องมีลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้

- (1) เป็นภาชนะบรรจุที่ต้องมีฝาหรือจุกปิด เมื่อใช้บรรจุจะต้องปิดผนึก หรือผนึกโดยรอบระหว่างฝาหรือจุกกับขวดหรือภาชนะบรรจุ
- (2) เป็นภาชนะที่ปิดผนึก ซึ่งไม่ใช่ภาชนะบรรจุตาม (1)
 - สิ่งที่ปิดผนึกหรือส่วนที่ปิดผนึกของภาชนะบรรจุตาม (1) และ (2) ต้องมีลักษณะที่เมื่อเปิดใช้แล้วทำให้สิ่งที่ปิดผนึกหรือส่วนที่ปิดผนึกหรือภาชนะบรรจุนั้นเสียไป

ข้อ 8 การแสดงฉลากของน้ำแร่ธรรมชาติ

(1) ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก เว้นแต่การใช้ชื่อน้ำแร่ธรรมชาติ ให้ปฏิบัติ ดังนี้

(1.1) ชื่อของน้ำแร่ธรรมชาติ ให้แสดงแหล่งที่มาของน้ำแร่ตามธรรมชาตินั้น โดยอาจจะมีชื่อทางการค้า ประกอบชื่อด้วยหรือไม่ก็ได้ และกำกับด้วยชื่อที่แสดงการปรับปริมาณก๊าซของน้ำแร่ธรรมชาติ ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ว่าด้วยเรื่อง น้ำแร่ธรรมชาติ และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

(2) แสดงชนิดของแร่ธาตุที่สำคัญ

(3) แสดงวัตถุประสงค์ในการผ่านกรรมวิธีตามข้อ 4(2) (ถ้ามี)

(4) แสดงค่าเคอนซึ่งมีขนาดความสูงไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร เห็นได้ชัดเจนในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงพื้นขาว ดังต่อไปนี้ "มีฟลูออไรด์" สำหรับน้ำแร่ธรรมชาติที่มีปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร และต้องเพิ่มค่าเคอน "ผลิตภัณฑ์นี้ไม่เหมาะสำหรับทารกและเด็กที่อายุต่ำกว่า 7 ปี" สำหรับน้ำแร่ธรรมชาติที่มีปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า 2 มิลลิกรัม ต่อน้ำแร่ธรรมชาติ 1 ลิตร

(5) ต้องมีข้อความภาษาไทย มีลักษณะถาวรปรากฏให้เห็นชัดเจนที่ภาชนะบรรจุ ซึ่งมีใช้ฝาของภาชนะบรรจุ แต่จะมีภาษาต่างประเทศด้วยก็ได้

ข้อ 9 ให้ไม่สำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 146 (พ.ศ.2535) เรื่อง น้ำแร่ ลงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2535 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 10 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าน้ำแร่ธรรมชาติที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้ว ให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 6 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปีนับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 11 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวัน นับแต่วันถัดจากวันประกาศ ในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543

กร ทัทพะรังสี
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพนารัตน์ ขอดแก้ว เกิดวันที่ 16 กันยายน 2514 เป็นคนจังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต พ.ศ.2537 จาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ พ.ศ.2544 และ ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง สาขานุรณะช่องปากและใบหน้า พ.ศ.2546 จาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันเป็นข้าราชการประจำภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่