

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์  
The Physicochemical Properties of the Novel Glass - Ionomer Cement

ซารีปะ หมั่นหมู้  
Sareepah Manmoo

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยทางทันตแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Dental Research

Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโพลีเอทิลีนไกลคอลไอโอโนเมอร์  
 ซีเมนต์  
 ผู้เขียน              นางสาวชาริปี๊ะ หมั่นหมู้  
 สาขาวิชา            การวิจัยทางทันตแพทยศาสตร์

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.อุรีพร เล็กกักต)

.....ประธานกรรมการ  
 (ศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย ขุนทองแก้ว)

.....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.อุรีพร เล็กกักต)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชโนทัย เสงตระกุล)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชโนทัย เสงตระกุล)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา จิตภักดิ์สินรินทร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
 ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยทางทันตแพทยศาสตร์

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรีพร เล็กกักต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวชารีป๊ะ หมั่นหมู่)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวชารีป๊ะ หมั่นหมู่)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
ผู้เขียน	นางสาวชารีป๊ะ หมั่นหมั่น
สาขาวิชา	การวิจัยทางทันตแพทยศาสตร์
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

การเติมไคโตซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เพื่อปรับให้วัสดุมีความสามารถในการปลดปล่อยสารชีวภาพอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้งสองชนิดคือ วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (G) และเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (RG) ที่มีการปรับปรุงสูตร

**วัสดุและวิธีการ:** การปรับสูตรส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยการผสมส่วนผงของ G และ RG ตามสัดส่วนต่อน้ำหนักด้วยไคโตซานร้อยละ 15 โดยจะใช้ไคโตซานขนาด 545 kDa (F) หรือ 62 kDa (K) และโปรตีนอัลบูมิน ร้อยละ 5 (A) เตรียมขึ้นทดสอบออกเป็น 5 กลุ่มทดสอบโดยแต่ละกลุ่มจะมีส่วนประกอบที่ต่างกัน ดังนี้ กลุ่ม 1: G หรือ RG เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่ม 2: GF หรือ RGF กลุ่ม 3: GFA หรือ RGFA กลุ่ม 4: GK หรือ RGK กลุ่ม 5: GKA หรือ RGKA โดยทำการศึกษาดังนี้ 1. ทดสอบการวัดระยะเวลาการก่อดัวด้วยด้วยเครื่องมือวัดระยะเวลาการก่อดัวของวัสดุทางด้านทันตกรรมโดยทำการบันทึกค่าระยะเวลาเริ่มการก่อดัวและค่าระยะเวลาสิ้นสุดการก่อดัวของวัสดุ 2. วัดค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุโดยใช้อิเล็กโทรดชนิดหัวแบนโดยการหยดน้ำลงบนพื้นผิววัสดุและทำการวัดตามช่วงเวลาต่างๆ 3. ทดสอบความแข็งของพื้นผิววัสดุโดยเครื่องทดสอบวัดค่าความแข็งของพื้นผิววัสดุทางด้านทันตกรรม 4. วัดค่าการต้านทานแรงอัด โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ทางด้านทันตกรรม ทดสอบที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง 5. ทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ทางด้านทันตกรรมที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง 6. ศึกษาการปลดปล่อยแร่ธาตุของวัสดุโดยหลังจากวัสดุก่อดัวและบ่มไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทำการแช่ในน้ำกลั่น และเก็บน้ำตัวอย่างและทำการเปลี่ยนน้ำทุกครั้งเมื่อถึงเวลาถัดไปโดยนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณฟลูออไรด์ด้วยเทคนิคการวัดด้วยอิเล็กโทรด และหาปริมาณ อะลูมิเนียม และซิลิกอน ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเครื่อง ICP-OES spectrometer สถิติที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียวในการวิเคราะห์ค่าการก่อดัว ค่าการต้านทานแรงอัด ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง และสถิติการ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแผนวัดซ้ำ ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพีเอช ค่าความแข็งพื้นผิว และการปลดปล่อยแร่ธาตุ ร่วมกับการเปรียบเทียบความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ผลการทดลอง:** ในวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมการเติมไคโตซานร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียวหรือเติมร่วมกับโปรตีนอัลบูมิน ร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อค่าการก่อตัว,ค่าพีเอชพื้นผิวยกเว้นในกลุ่ม GK ค่าพีเอชลดลง, ค่าความแข็งพื้นผิว และรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอน ยังคงเหมือนเดิมและส่งผลทำให้ลดการเกิด burst effect ในระยะแรก และทำให้การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในกลุ่ม GF, GFA, GK ลดลง การปลดปล่อยอะลูมิเนียมในกลุ่ม GF กับ GFA ลดลง และ การปลดปล่อยซิลิกอนในกลุ่ม GFA เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และส่งผลให้มีค่าการต้านทานแรงอัดลดลงในทุกกลุ่มและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนในวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์การเติมไคโตซานร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียวหรือเติมร่วมกับโปรตีนอัลบูมินร้อยละ 5 ไม่มีผลกระทบต่อค่าการก่อตัวและรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอน ยังคงเหมือนเดิม และทำให้การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในทุกกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้น การปลดปล่อยอะลูมิเนียมไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม การปลดปล่อยซิลิกอนมีค่าเพิ่มขึ้นในกลุ่ม RGF, RGFA, RGK เมื่อเปรียบเทียบกับควบคุม และส่งผลให้ค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่ม และค่าความแข็งพื้นผิว, ค่าการต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางลดลงในทุกกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

**สรุป:** การเติมไคโตซานร้อยละ 15 และโปรตีนอัลบูมินร้อยละ 5 ร่วมกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการก่อตัว ค่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช ค่าความแข็งพื้นผิว รูปแบบการปลดปล่อยแร่ธาตุและมีผลต่อค่าการต้านทานแรงอัดลดลงและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเพิ่มขึ้น การเติมไคโตซานร้อยละ 15 และโปรตีนอัลบูมินร้อยละ 5 ในกลุ่มเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการก่อตัว และรูปแบบการปลดปล่อยแร่ธาตุ แต่มีผลทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งพื้นผิว ค่าการต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางลดลง

คำสำคัญ : โนวเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์, ไคโตซาน, คุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติทางเคมี

<b>Thesis Title</b>	The Physicochemical Properties of the Novel Glass-Ionomer Cement
<b>Author</b>	Miss Sareepah Manmoo
<b>Major Program</b>	Dental Research
<b>Academic Year</b>	2014

## ABSTRACT

The modification of glass-ionomer cement (GIC) with chitosan and albumin lead to a novel cement which can sustain release bioactive molecules. This may alter the physicochemical properties of the cement.

**Objective:** This study aimed to investigate the physicochemical properties of both conventional glass ionomer cement (G) and resin modified glass ionomer cement (RG) that have been modified.

**Materials and methods:** The modification of both G and RG cements was performed by pre-mixing the powder of G and RG thoroughly (w/w) with 15% of chitosan selected from two molecular weights either 545 kDa (F) or 62 kDa (K) and 5% bovine serum albumin (A) while there is no change in the liquid component. Five groups with different compositions of the powder were assigned to: 1. G, RG were control groups 2. GF, RGF 3. GFA, RGFA 4. GK, RGK 5. GKA, RGKA 1. Initial setting times and final setting time were determined using a Gilmore needle according to the dental material standard. 2. Surface pH was measured by flatten electrode by placing on the wet surface of the setting cement. 3. Microhardness of each specimen was measured. 4-5. Compressive strength and Diametral was measured by Universal testing machine for 1, 24, 48 hour after setting. 6. Fluoride release in immersed water was determined by using a standard ion-selective electrode technique. The aluminum and silicon release measured by Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) technique. The results were analyzed using one way ANOVA to compare the means among groups of the setting time, compressive strength and diametral tensile strength. The release of fluoride, aluminum and silicon as well as surface pH and microhardness were determine by ANOVA with repeated measurement and scheffe 's multiple comparison test.

**Result:** Conventional glass ionomer cement with adding 15% chitosan only or also adding with 5% BSA did not alter setting time, surface pH except in GK (decrease pH value) , surface hardness and pattern release of fluoride, aluminum and silicon. However burst effect was reduce at the early phase. The releasing of fluoride in GF, GFA and GK were decreased. The releasing of aluminum in GF and GFA group were decreased. The releasing of silicon in GFA group was increased when compared with control group. The compressive strength decreased in all of groups and the diametral tensile strength increased when compared with control group. Resin modified glass ionomer cement with adding 15% chitosan only or also adding 5% BSA did not alter setting times and pattern of release of fluoride, aluminum and silicon. All of the modified cements increased of fluoride release. The releasing of aluminum all in all of groups were not different. The silicon releasing in RGF, RGFA and RGK were increased when compared with control group. The surface pH values was increased in all of the modified cement groups. The microhardness, compressive strength and diametral tensile strength were decreased when compared with control group.

**Conclusion:** Conventional glass ionomer cement with adding 15% chitosan only or also adding with 5% BSA did not alter setting times, surface pH, surface hardness as well as the pattern release of fluoride, aluminum and silicon. However, adding chitosan and BSA reduce their burst effect at the early phase. The compressive strength decreased in all of groups and the diametral tensile strength increased. Resin modified glass ionomer cement with adding 15% chitosan only or also adding 5% BSA did not alter setting times and pattern of release of fluoride, aluminum, silicon but reduced the burst effect in early phase. Surface pH was increased while microhardness, compressive strength and diametral tensile strength were decreased.

Keyword : Novel glass-ionomer cement, Chitosan, Physical properties, Chemical properties



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(5)
Abstract.....	(7)
กิตติกรรมประกาศ.....	(9)
สารบัญ.....	(10)
รายการตาราง.....	(11)
รายการรูป.....	(13)
1. บทนำ.....	
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
การทบทวนวรรณกรรม.....	2
วัตถุประสงค์.....	17
2. วิธีการวิจัย.....	18
3. ผลการวิจัย.....	24
4. บทวิจารณ์.....	49
5. สรุป.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	60
ประวัติผู้เขียน.....	69

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1	แสดงสัดส่วนผกกลาสไอโอโนเมอร์ โคลโตซานและอัลบูมินในส่วนผกของ..... 19 ขึ้นทดสอบโดยน้ำหนัก และจำนวนขึ้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม
2	แสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ..... 25
3	แสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ..... 26
4	สรุปค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม..... 27
5	สรุปค่าพีเอชพื้นผิวของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ..... 29
6	ตารางแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม ..... 30
7	ตารางแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์..... 32
8	สรุปค่าต้านทานแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม ..... 33
9	สรุปค่าการต้านทานแรงอัดของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์..... 35
10	สรุปค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม..... 36
11	สรุปค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์..... 38
12	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน ..... 40 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม
13	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน ..... 42 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม
14	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน..... 43 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม
15	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน..... 45 ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
16	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน ..... 47 ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
17	สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน ..... 48 ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
18	แสดงรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ..... 61
19	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสม ..... 63 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

### รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสม..... ของวัสดุพลาสติกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	64
21	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสม..... ของวัสดุพลาสติกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	65
22	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสม..... ของวัสดุเรซินโมดิฟายด์พลาสติกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	66
23	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสม..... ของวัสดุเรซินโมดิฟายด์พลาสติกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	67
24	แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสม..... ของวัสดุเรซินโมดิฟายด์พลาสติกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	68

## รายการรูป

รูปที่		หน้า
1	แผนภาพแสดงปฏิกิริยาทางเคมีของการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์..... ตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนกระทั่งปฏิกิริยาลิ้นสุด	4
2	แผนภาพแสดง โครงสร้างทางเคมีของ โคลดินและ โคลโตซาน .....	6
3	กราฟแสดงค่าพีเอชพื้นผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม .....	27
4	กราฟแสดงค่าพีเอชพื้นผิวของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	28
5	กราฟแสดงค่าความแข็งผิวของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม.....	30
6	กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ .....	31
7	กราฟแสดงค่าต้านทานแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม .....	33
8	กราฟค่าต้านทานแรงอัดของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	34
9	กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม .....	36
10	กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	37
11	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์..... ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	39
12	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์..... ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	41
13	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยซิลิกอนแบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์..... ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	43
14	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันของเรซิน โมดิฟายด์..... กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	45
15	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันของเรซิน โมดิฟายด์..... กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	46
16	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยซิลิกอนแบบรายวันของเรซิน โมดิฟายด์..... กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	48
17	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ .....	63
18	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ..... กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	64

### รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
19 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซัลฟิดรอนต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ ..... กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม	65
20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ ..... เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	66
21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ ..... เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	67
22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซัลฟิดรอนต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุ ..... เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	68

## บทที่ 1

### ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัญหาฟันผุในปัจจุบันมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้มีผลกระทบหลายๆ ด้าน เช่น สุขภาพอนามัย สุขภาพจิต และการเงิน ซึ่ง ในปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้ในการบูรณะฟันนั้นมีหลายชนิด เช่นอะมัลกัม คอมโพสิทเรซิน และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับอย่างสูง คุณสมบัติพิเศษของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้อย่างยาวนาน มีความโปร่งแสง ยึดติดกับโครงสร้างฟันได้ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ นอกเหนือจากงานทางด้านทันตกรรมแล้ว ยังนำมาใช้ในงานทางการศัลยกรรมกระดูกอีกเช่นกัน ทั้งนี้ยังมีความพยายามปรับคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุ โดยการเติมสารบางชนิดร่วมกับวัสดุเช่น เลซินฟอสฟอเปปไทด์อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (CPP-ACP), ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite), เอ็นไวนิลไพโรลิโดน (N-vinylpyrrolidone) และเมื่อเร็วๆ นี้มีการศึกษาการเติมไคโตซานผสมกับส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านชีวภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาของ Limapornvanich และคณะ ค.ศ. 2009<sup>1</sup> ศึกษาการปลดปล่อยโปรตีน (BSA) จากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ที่มีการเติมไคโตซานร่วมด้วยโดยศึกษาคุณสมบัติทางด้านเสถียรภาพ และความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อใน (pulp cell) โดยใช้โปรตีน (BSA) เป็นสารต้นแบบสำหรับระบบการนำส่งโปรตีน ซึ่งโปรตีน (BSA) นั้นยังสามารถช่วยรักษาคุณสมบัติของสารชีวภาพ (growth factor) และ โมเลกุลทางชีวภาพ (bioactive molecule) อื่นๆ ได้ และพบว่ากลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ร่วมกับไคโตซานสามารถปลดปล่อยโปรตีน (BSA) ออกมาได้ยาวนาน และไม่ได้เพิ่มความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อใน แต่อย่างไรก็ตาม ปี ค.ศ. 2011 Rakkiattiwong และคณะ<sup>2</sup> ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของทรานสปอร์มมิงโกรวท์แฟกเตอร์เบต้า 1 ที่ปลดปล่อยจากวัสดุไคโตซานประยุกต์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟัน พบว่าการสร้างแคลเซียมของเซลล์ คัดจากร้อยละของพื้นที่ที่สร้างนั้นกลุ่มของกลาสไอโอโนเมอร์ร่วมกับไคโตซานมีค่าการสร้างแคลเซียมสูงที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าวัสดุในกลุ่มนี้ไม่ได้ทำให้ทรานสปอร์มมิงโกรวท์แฟกเตอร์เบต้า 1 สูญเสียฤทธิ์หรือถูกทำลาย จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเห็นได้ว่าการเติมไคโตซานร่วมกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คุณสมบัติทางด้านชีวภาพเป็นไปในทางที่ดีต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันและสามารถยืดระยะเวลาการปลดปล่อยโปรตีนได้อย่างยาวนานจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการเติมไคโตซาน

## การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยเรื่อง คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตทางทันตกรรมชนิดใส ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เพื่อให้ครอบคลุมถึงองค์ความรู้และที่มาของการวิจัยจึงแบ่งการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใสและเรซิน โมดิฟายด์โพลีเมอร์เรซินคอมโพสิตชนิดใส ตอนที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใส ตอนที่ 3 คือการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐาน, คุณสมบัติทาง ด้านกายภาพและคุณสมบัติทางด้านการปลดปล่อยแร่ธาตุของวัสดุโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใส

### 1. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement)

โพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใสเป็นวัสดุที่ใช้บูรณะฟันที่ถูกคิดค้น โดย Alan Wilson และ Brian Kent ที่ห้องปฏิบัติการทางเคมีในกรุงลอนดอน ปี ค.ศ. 1960 และมีการใช้งานมาได้เป็นเวลาระยะหนึ่งจากนั้นได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายและนำไปสู่ทางด้านทันตกรรมในปี ค.ศ. 1975 โดยในยุคนั้นคุณสมบัติต่างๆ ถ้าเทียบกับวัสดุบูรณะในปัจจุบันมีความดีกว่าอยู่มาก<sup>3</sup> คุณสมบัติพิเศษของโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใสคือ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ สามารถป้องกันฟันผุ มีความโปร่งแสง ยึดติดกับโครงสร้างฟันได้ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ยึดติดกับฟันที่ขึ้นได้ ค่าการขยายตัวต่ำ<sup>4</sup> นอกเหนือจากงานทางด้านทันตกรรม โพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใสมีการพบว่ามีคุณสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดีเยี่ยม เช่นการใช้เป็นกระดูกเทียมของหูและใช้ฟื้นฟูกระดูกฐานรองกระดูกไขว้หน้า การศัลยกรรมกระดูกและ ศัลยกรรมทางด้าน หู จมูก คอ (ENT surgery)<sup>5</sup>

#### 1.1 ส่วนประกอบของโพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใส

โพลีเมอร์เรซินเรซินคอมโพสิตชนิดใสประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ส่วนผงจะเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตโกลาส (alumino-silicate glass) ผลึกแก้วนี้มีส่วนผสมของซิลิกา (silica) อะลูมินา (alumina) แคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride, CaF<sub>2</sub>) ครีโอลิต (cryolite, Na<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) อะลูมิเนียมไตรฟลูออไรด์ (aluminium trifluoride) และอะลูมิเนียมฟอสเฟต (aluminium phosphate) ผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ นำมาเผาที่อุณหภูมิ 1,100-1,500 องศาเซลเซียส และเมื่อหลอมละลายแล้วนำไปผ่านน้ำเย็นเพื่อให้แตกออกเป็นผงและบดจนมีขนาดต่ำกว่า 50 ไมโครเมตร<sup>6</sup> ส่วนเหลวเป็นกรดพอลิอัลคิโนอิก (polyalkenoic acid) ที่มีองค์ประกอบหลัก คือ กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) เข้มข้นร้อยละ 40-55 อาจเติม กรดอิทาโคนิก (itaconic acid) เพื่อลดความหนืดในการเกิดฟันเพิ่ม

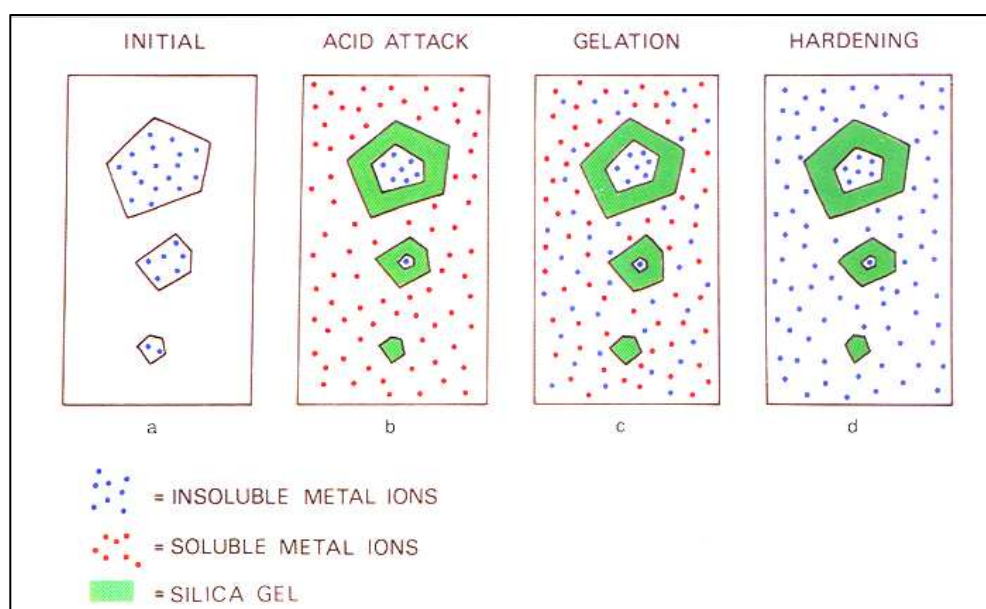
เสถียรภาพและอายุการเก็บของวัสดุ และเติมกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) เพื่อช่วยเพิ่มเวลาทำงาน และทำให้การแข็งตัวเร็วขึ้น โดยปฏิกิริยาระหว่างส่วนผงและส่วนเหลวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในปฏิกิริยากรด-ด่าง จึงกล่าวได้ว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก (water-based materials)

## 1.2 ปฏิกิริยาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

การก่อตัวแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการละลาย (dissolution phase) เริ่มเมื่อผสมผง กับส่วนเหลวมีปฏิกิริยาเคมีแบบกรด-ด่าง (acid-base) โดยมีน้ำเป็นตัวกลางช่วยให้เกิดปฏิกิริยา ในการเกิดปฏิกิริยานั้น กรดต่างๆ ในส่วนเหลว (polyacrylic acid, copolymer ของ polyacid) ทำปฏิกิริยาบริเวณผิวผง ทำให้มีการปล่อยแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และ อะลูมิเนียมไอออน ( $\text{Al}^{3+}$ ) จากผิวของผง โดยในระยะแรกนั้นแคลเซียมไอออน จะถูกปล่อยออกมาก่อนและเร็วกว่าอะลูมิเนียมไอออน ระยะที่สองเกิดเจล (gelation phase) แคลเซียมไอออน จะทำปฏิกิริยากับกลุ่ม คาร์บอกซิลของกรดเกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอกซิเลต (calcium carboxylate) ขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นเมทริกซ์ยึดผลึกแก้วที่เป็นตัวเชื่อม (glass filler) เข้าด้วยกัน เกิดเป็นการแข็งตัวเริ่มต้น (initial set) ปฏิกิริยาการก่อตัวทั้ง 2 ระยะ จะใช้เวลาประมาณ 4-6 นาที ตั้งแต่เริ่มผสม ซึ่งเกลือของแคลเซียมคาร์บอกซิเลต (calcium carboxylate salt) ที่ได้จากการผสมนั้นละลายน้ำได้ง่าย และไม่เสถียร (unstable) ดังนั้น ในระยะแรกจึงต้องระมัดระวังไม่ให้กลาสไอโอโนเมอร์ที่ผสมใหม่ ๆ สัมผัสกับน้ำโดยการใช้น้ำเคลือบ (protective varnish) ทาป้องกัน และภายหลังการแข็งตัวเริ่มต้นแล้ว ปฏิกิริยายังคงดำเนินต่อไปโดยอะลูมิเนียมไอออน ซึ่งปล่อยออกมาช้ากว่า ทำปฏิกิริยากับกลุ่มคาร์บอกซิล เกิดเป็นเกลือของอะลูมิเนียมคาร์บอกซิเลต ซึ่งเสถียรกว่าเกลือของแคลเซียมคาร์บอกซิเลต ทำให้เกิดการแข็งตัวเต็มที่ (final set) และเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ การแข็งตัวเต็มที่ใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ภายหลังการผสม นอกจากนี้แล้ว แคลเซียมที่อยู่ในตัวฟันยังสามารถจับกับโมเลกุลของกรดได้เช่นกัน ทำให้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยึดกับเนื้อฟันได้ ส่วนประจุอื่นๆ เช่น ฟลูออไรด์ไอออน (F<sup>-</sup>) ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องกับในการทำปฏิกิริยา ก็จะอยู่เป็นอิสระและค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ส่วนผงที่เหลือจากการแตกตัวก็จะกระจายแทรกอยู่ทั่วๆ ไปในซีเมนต์ (รูปที่ 1) จะเห็นว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ชนิดดั้งเดิมนั้นเป็นวัสดุที่มีระยะเวลาการแข็งตัวเต็มที่นาน คือการแข็งตัวเริ่มต้นจะ กินเวลาประมาณ 4-6 นาที และการแข็งตัวเต็มที่ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกัน ระยะเวลาการทำงาน (working time) ค่อนข้างสั้น คือ ประมาณ 3-4 นาที ภายหลังการผสม ซึ่งผิดกับหลักการของวัสดุบูรณะที่ดีทั่วไป ที่ควรจะต้องมีระยะทำงานนาน และระยะก่อตัวที่สั้น และสามารถควบคุมได้ซึ่งการมีระยะทำงานสั้น และเวลาการแข็งตัวนานนี้



เป็นข้อค้อยที่สำคัญของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม โครงสร้างของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว จะเป็นกลาสฟิลเลอร์ (glass filler) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวัสดุ (core material) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาด้วยกรด (ประมาณร้อยละ 70 ของขนาดเดิม) ล้อมรอบด้วยซิลิกาเจล (silica gel) ซึ่งก็คือส่วนของซิลิกาที่แยกส่วนของแคลเซียมไอออน และ อะลูมิเนียมไอออน ออกไปแล้ว ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน เกิดเป็นซิลิกาไฮโดรเจล (silica hydrogel) และ ส่วนพอลิซอล (polysalt) ของอะลูมิเนียมคาร์บอกซิเลต (aluminum carboxylate) กับ แคลเซียมคาร์บอกซิเลต (calcium carboxylate) ที่ยึดกลาสฟิลเลอร์ (glass filler) เข้าไว้ด้วยกัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสูตรของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มากมายเพื่อให้เหมาะสมแก่งานในวัตถุประสงค์ต่างๆกัน



รูปที่ 1 แสดงปฏิกิริยาทางเคมีของการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาจนกระทั่งปฏิกิริยาสิ้นสุด (คัดลอกจาก Wilson AD, McLean JW 1998)<sup>6</sup>

### 1.3 เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือ RMGIC

เป็นการพัฒนาวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยนำเอาเรซินมาใส่รวมเข้าไปในส่วนของเหลว และมีการเติมสารตัวเริ่มต้น (initiator) เพื่อให้เกิดการโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของเรซินที่เติมลงไป และเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประกอบด้วยผงและของเหลว อยู่ในลักษณะที่มีส่วนประกอบของน้ำ (hydrous type) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ส่วนผง ประกอบด้วยเรดิโอพาคแคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิเกตกลาส (radiopaque

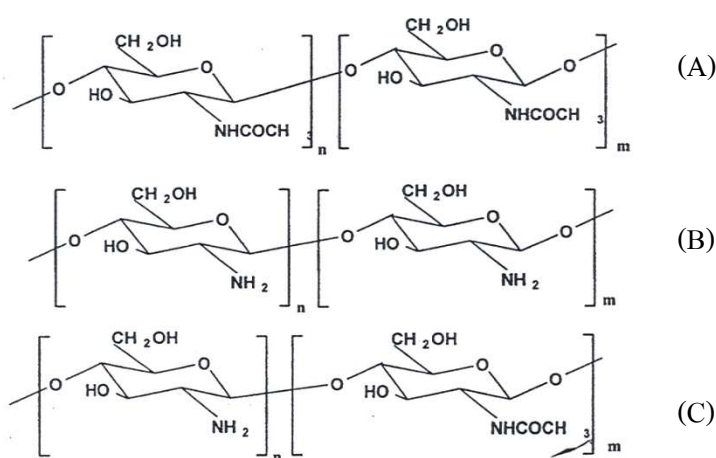
calcium alumino silicate glass) ของเหลวประกอบด้วย กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) หรือ กรดพอลิอะคริลิก ที่มีการเติมกลุ่มเมทาไคริลิก (modified polyacrylic acid with methacrylic end group) ส่วนใหญ่จะมีเรซินที่ชอบน้ำ (hydrophilic resin) ซึ่งก็คือ HEMA (hydroxy ethylmethacrylate) อยู่ด้วยเป็นตัวเริ่มเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยากับแสง (photoinitiator) จะเห็นว่า เรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์คงมีลักษณะส่วนผงและส่วนเหลว (powder – liquid) ไว้ เพียงแต่เติมเรซินสำหรับบ่มตัวด้วยแสง (light - cured resin) เข้าไปประมาณร้อยละ 10 เมื่อผสมผง และของเหลวเข้าด้วยกันเกิดปฏิกิริยากรด-ด่าง ทำให้แข็งตัวตามปกติของกลาสไอโอ โนเมอร์ ซีเมนต์คือมีการสร้างแคลเซียม และ อะลูมิเนียม พอลิอะคริเลตเจลเมทริกซ์ (aluminium polyacrylate gel matrix) ยึดชิ้นส่วนที่เป็นแก้ว (glass particle) เข้าไว้ด้วยกัน ร่วมกับการบ่มตัว ของเรซิน โดยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อฉายแสง ดังนั้นกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ที่ก่อตัว ด้วยการฉายแสงจึงควรเรียกว่า คู่อเคียว (dual-cured) กลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ มากกว่า คือ แข็งตัวโดยปฏิกิริยาของกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ และด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินที่ บ่มตัวด้วยแสง (light cured resin) ที่เติมลงไป เนื่องจาก กลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ที่ก่อตัวด้วยการ ฉายแสงที่แท้จริงเป็นการบ่มตัวสองขั้นตอน แม้จะไม่ฉายแสงก็จะมีตัวเริ่มต้นของการก่อตัว (initial set) ภายใน 12-15 นาที โดยปฏิกิริยา กรด-ด่าง ของกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์เอง แต่คุณสมบัติ ความแข็งแรงต่างๆ จะลดน้อยลงกว่าเมื่อมีการฉายแสงร่วมด้วย การเติมเรซินเข้าไปในกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์พบว่าไม่มีผลกระทบต่อสมบัติของกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ที่มีอยู่เดิมมากนัก แต่ มีผลทำให้มีคุณสมบัติดีขึ้น ที่สำคัญคือมีระยะเวลาก่อตัวเริ่มแรกทันทีที่ฉายแสง ด้านทานต่อการ สัมผัสกับน้ำ (water resistance) ได้ดีขึ้น และไม่ไวต่อการสูญเสีย

## 2. ไคโตซาน

### 2.1 โครงสร้างทางเคมี

ไคโตซาน เป็นไบโอโพลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญในรูป ของ ดี-กลูโคซามีน (D – glucosamine) พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอก ของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และ เชื้อรา เป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุ ชีวภาพ ( biomaterials ) ย่อยสลายตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่ เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม่ไวไฟ และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ไคโตซาน คือ อนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่อะซิติก (acetyl) ของน้ำตาล เอ็น-อะซิติก-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D- glucosamine เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น

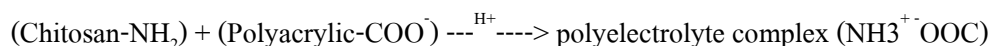
glucosamine ออกตั้งแต่วัยละ 50 ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน ปกติแล้วไคโตซานที่ได้จะมีส่วนผสมของน้ำตาล เอ็น-อะซิติก-ดี-กลูโคซามีน และ กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine) อยู่ในสายโพลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งระดับการกำจัดหมู่อะซิติก (acetyl หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation) นี้มีผลต่อคุณสมบัติและการทำงานของไคโตซาน ไคโตซานสามารถย่อยสลายได้ (biodegradable) และเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่เป็นพิษ<sup>7</sup> นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน บอกรถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่นไคโตซาน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีสายยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่า ไคโตซาน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน (A) ไคโตซาน (B) และพอลิเมอร์ร่วมไคติน-ไคโตซาน (C) (คัดลอกจากเอกสารประกอบการบรรยายการประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องไคตินและไคโตซานจาก วัสดุชีวธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544)<sup>78</sup>

### การเกิดโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ (polyelectrolyte complex)

ไคโตซานสามารถเกิดเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ด้วยพันธะไอออนระหว่างไคโตซานและกรดพอลิอะคริลิก<sup>8</sup>



จากสมการเห็นได้ว่า การเกิดโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ จะส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) อิสระลดลง ส่งผลให้ค่าความกรด-ด่างกลับสู่สภาวะเป็นกลางได้เร็วขึ้น ลักษณะเด่นของโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ คือ มีความสามารถดูดน้ำหรือของเหลวจากสิ่งแวดล้อมได้ดี จึงได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในการควบคุมการปลดปล่อย

ยา เนื่องจากความสามารถในการดูดน้ำดังที่กล่าวไปคุณสมบัติการเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อ และคุณสมบัติที่ด้วยหรือสารที่เราต้องการให้โพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพลกซ์ช่วยในการควบคุมการปลดปล่อยสามารถกระจายในเมทริกซ์ของโพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพลกซ์ได้ง่ายเพราะในขณะที่กรดพอลิอะคริลิกที่ละลายโคโตซานนั้น ไอออนบวกจากโคโตซานสามารถเกิดพันธะกับไอออนลบของกรดพอลิอะคริลิก และยังสามารถเกิดพันธะระหว่างยาหรือสารและ โพลีเมอร์อื่น ๆ ได้ มีผลทำให้การละลายตัวของสารเหล่านั้นลดลง และการที่โพลีอิเล็กโทรไลต์คอมเพลกซ์เกิดการบวมน้ำทำให้ยาแพร่ออกมาอย่างช้า ๆ<sup>9</sup>

## 2.2 การประยุกต์ใช้โคโตซาน

เนื่องจากโคโตซานละลายได้ในกรดอินทรีย์ ซึ่งรวมทั้งกรดพอลิอะคริลิก โดยพบว่าโคโตซาน สามารถทำปฏิกิริยากับกรดพอลิอะคริลิก เกิดเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์โพลีเมอร์ (poly electrolyte polymer)<sup>10</sup> การนำโคโตซาน ไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิดดีอะเซทิลเลชัน (deacetylation) และน้ำหนักโมเลกุล ปัจจุบันมีการนำโคตินและ โคโตซาน มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ อาทิเช่น ได้มีการนำ โคโตซานมาใช้ในทางการแพทย์มากมาย เช่น ด้านเภสัชกรรม มีรายงานการใช้โคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยด้วยยาสำคัญ<sup>11</sup> และใช้เป็นตัวนำส่งยา ซึ่งรวมทั้งโปรตีน<sup>12</sup> ด้านอาหาร โคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือ โคโตซาน มีประจุบวก สามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหล ของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์

ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคตินและโคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกันบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร<sup>13</sup> ด้านอาหารเสริม มีรายงานว่า โคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอล และไขมันในเส้นเลือด โดยโคโตซานไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคโตซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น มีรายงานการนำเอ็น-อะซิติกิว-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่า ข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่งกลูโคซามีนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โปรตีโอไกลแคน (proteoglycan) และ เมทริกซ์ (matrix) ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น<sup>14</sup>

ด้านการแพทย์ มีการวิจัยนำแผ่นโคโคซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่ให้เกิดแผลเป็น โดยโคโคซานช่วยลดการหดตัว (contraction) ของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) ทำให้แผลเรียบ ทางด้านทันตกรรมจากงานวิจัยของ Rakkiattiwong และคณะ<sup>2</sup> ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประยุกต์ที่เติมโคโคซาน และ ทรานสฟอรัมมิงโกรว์ทแฟคเตอร์เบต้า 1 (TGF- $\beta$ 1) ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์เนื้อเยื่อในพบว่ากลุ่มของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการเติม ทรานสฟอรัมมิงโกรว์ทแฟคเตอร์เบต้า 1 มีการรอดชีวิตของเซลล์สูงที่สุดรองลงมาคือกลุ่มของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการเติมโคโคซานและเติมทรานสฟอรัมมิงโกรว์ทแฟคเตอร์เบต้า 1 ซึ่งทั้งสองกลุ่มที่กล่าวมาเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เป็นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เพียงอย่างเดียว พบว่ามีการรอดชีวิตของเซลล์เนื้อเยื่อในสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และงานวิจัยของ Limapornvanich และคณะ<sup>1</sup> ได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของการเติมโคโคซาน และ โปรตีนอัลบูมินผสมในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่ากลุ่มของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประยุกต์ที่มีการเติมโคโคซานมีคุณสมบัติในการปล่อยโปรตีนอัลบูมินได้ยาวนานขึ้นอย่างน้อย 2 สัปดาห์ตลอดการทดลองโดยโปรตีนในการศึกษา มิได้ถูกย่อยสลาย หรือแตกตัวแต่อย่างใด

### 3. คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านกายภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

#### 3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีข้อดีอยู่ด้วยกันหลายประการแต่อย่างไรก็ตามกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ก็ยังมีข้อด้อยเช่น วัสดุมีความเปราะ ค่าความแข็งแรงน้อย ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาวัสดุให้มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพที่ดีขึ้น ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์นั้นการประยุกต์โดยการเติมสารสำคัญลงไปผสมกับวัสดุเช่น ได้มีการรายงานว่าการเติมไฮดรอกซีแอพาไทด์ลงไปในส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถทำให้วัสดุมีความทนทานขึ้นทำให้วัสดุยึดติดกับเนื้อฟันได้ยาวนาน<sup>15</sup> ขึ้น นอกเหนือจากนี้การรายงานของ Gu และคณะ ค.ศ. 2005<sup>16</sup> พบว่าการเติมไฮดรอกซีแอพาไทด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักสามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่วางขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป

คุณสมบัติทางด้านค่าระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมจะมีค่าระยะเวลาการก่อตัวอยู่ระหว่าง 6-8 นาที หลังจากเริ่มผสมการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดที่ 1 (Type I luting cements) จะมีการก่อตัวเร็วกว่าชนิดที่ 2 (Type II restorations) ส่วนเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ถูกพัฒนามาจากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมเวลา

การก่อตัวสามารถควบคุมโดยใช้แสงปฏิกิริยาเกิดขึ้นของวัสดุมี 2 ชนิดคือ ปฏิกิริยากรด-ด่าง ซึ่งยังคงเหมือนกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่จะมีส่วนที่แตกต่างคือปฏิกิริยาบ่มตัวด้วยแสง เกิดเนื่องจากการเติมเรซิน เช่น HEMA (hydroxyethyl methacrylate) หรือ Bis-GMA (bisphenol glycidyl methacrylate) ลงไปในส่วนประกอบของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยจะมีแสงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน<sup>17</sup> มีการรายงานการพัฒนาวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการเติมเคซีนฟอสฟอเปปไทด์อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (CPP-ACP) พบว่าเมื่อมีการเติม CPP-ACP ร้อยละ 3 และ 5 ของน้ำหนักกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพิ่มเวลามากขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุกลุ่มควบคุม<sup>18</sup>

### 3.2 การเปลี่ยนแปลง พีเอช ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

การพัฒนาวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอีกข้อหนึ่งก็คือเมื่อมีการพัฒนาวัสดุออกมาแล้วคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของ พีเอช นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งความสำคัญของค่า พีเอช ก็คือ เมื่อนำวัสดุไปใช้งานจริงวัสดุจะต้องมีการแนบติดกับเนื้อฟัน ดังนั้นถ้าวัสดุของเรามีค่า พีเอชที่ต่ำมากๆอาจจะทำให้ส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อใน หรือแร่ธาตุในเนื้อฟันบริเวณนั้นละลายออกมาได้ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ วัสดุกลาสโพลีอะซิโนเอต (glass polyalkenoate) ที่ใช้ในทางทันตกรรม มีหลายการศึกษาที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุ เช่นมีการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของการอักเสบเนื้อเยื่อในของฟันมนุษย์<sup>33, 34</sup> และมีการทดสอบเกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุที่มีต่อเซลล์<sup>35, 36, 37</sup> ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลาสไอโอโนเมอร์มีการแสดงออกที่หลากหลายระดับของการตอบสนอง ส่วนในสัตว์ทดลองวัสดุมีการตอบสนองที่อ่อนโยนมีความสัมพันธ์กับความหนาของเนื้อฟันหรือขึ้นอยู่กับสถานะเงื่อนไขต่างๆ อย่างไรก็ตาม บริเวณที่เนื้อฟันมีความบางพบว่าความเป็นพิษส่งผลไปถึงชั้นของเนื้อเยื่อใน (pulp) เพราะฉะนั้น แนะนำให้ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์รองพื้นในคนไข้ที่มีเนื้อฟันบางอย่างที่กล่าวมาข้างต้น<sup>38</sup>

ในทางตรงข้ามของวัสดุที่ใช้บูรณะฟัน กลาสไอโอโนเมอร์สำหรับบด (luting cement) ในการรักษาคนไข้บางรายพบว่าเกิดอันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุ<sup>39</sup> วัสดุที่ใช้สำหรับบด ในสูตรการผสมซีเมนต์มีอัตราส่วนผงที่น้อยกว่าส่วนเหลว ซึ่งจะต่างจากวัสดุที่ใช้บูรณะทั่วไปที่จะมีอัตราส่วนของส่วนผงมากกว่าส่วนเหลวด้วยเหตุนี้ทำให้วัสดุมีการก่อตัวที่ช้ามากซึ่งสอดคล้องกับการรายงานที่พบว่าการเปลี่ยนแปลง พีเอชที่ช้ามากๆของวัสดุอาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟัน<sup>40</sup> โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงบริเวณที่เนื้อฟันมีความบางหรือได้รับความเสียหาย Smith และ Ruse ค.ศ. 1986<sup>40</sup> ได้ทดสอบวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ 5 ยี่ห้อ พบว่าค่า พีเอช

ของวัสดุที่ต่ำกว่า 3 นั้นทำให้มีผลกระทบต่อคนไข้บางราย นอกเหนือจากนี้ได้มีการศึกษาโดยนำ สัตว์ทดลองที่ปราศจากเชื้อและกำจัดเชื้อ โรคออกจากรอยฟันผุให้หมดพบว่าบริเวณที่มีการบูรณะ ฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ส่งผลทำให้เนื้อเยื่อในมีการอักเสบน้อยลงและไม่มีการติดเชื้อแต่อย่างใด<sup>41</sup> การค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่า ค่า พีเอช ของวัสดุอาจจะไม่ส่งผลต่อการระคายเคืองของเนื้อเยื่อในก็เป็นได้

### 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

คุณสมบัติทางด้านความแข็งพื้นผิวหรือ surface hardness มีความสำคัญต่อวัสดุ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งคุณสมบัติทางด้านกายภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะต้องทน ต่อแรงต้านทานการบดเคี้ยว มีความแข็งแรงทนทาน ใช้งานได้ในระยะยาว ผิวหน้าของวัสดุควรมี ความสวยงาม มีการพัฒนาเพื่อใช้ในการรักษาอยู่มาหลายทศวรรษที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ เช่น พัฒนาพื้นผิวหน้าของผงแก้วและการประยุกต์ส่วนประกอบของส่วนผงแก้ว ความหนืดของกลาส ไอโอโนเมอร์ ความเข้มข้นที่เหมาะสมและน้ำหนักโมเลกุลของกรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) ที่ปรับปรุงให้เหมาะสมกับการกระจายตัวของผงแก้ว ความแข็งผิวของวัสดุที่ดีจะช่วยให้ การรักษาแบบ ART ได้ผลดียิ่งขึ้น การรักษาแบบ ART คือการนำส่วนที่เป็นฟันผุออกให้น้อยที่สุด และบูรณะฟันที่เสียหายและมีการคลุมหลุมร่องฟันด้วยวัสดุที่มีการยึดติดที่ดี เช่นกลาสไอโอโน เมอร์ซีเมนต์ จะมีวิธีการป้องกันและมีขั้นตอนการบูรณะที่เป็นไปอย่างมีศักยภาพ มีการทำลายเนื้อ ฟันให้น้อยที่สุดเพื่อรักษาฟันให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและวัสดุที่ใช้ต้องมีความแข็งผิวที่ดีเพื่อที่จะ ช่วยในการป้องกันและรักษาเนื้อฟันได้ดีขึ้น<sup>19</sup> ส่วนความแข็งพื้นผิว (hardness) คือความต้านทาน ของวัสดุใดๆต่อการกด, เเจาะ, แทะของวัสดุอื่นที่แข็งกว่าลงบนผิวหน้าของวัสดุที่ต้องการทดสอบ ให้เกิดรอยยุบอย่างถาวร แล้วทำการวัดขนาดความใหญ่ หรือความลึกของรอยยุบที่เกิดขึ้น ความ แข็งวัสดุอ่อนจะได้รอยยุบใหญ่หรือลึกมาก วัสดุที่แข็งจะเกิดรอยยุบเล็กหรือค้นวิธีวัดความแข็งทำ ได้หลายวิธี ขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ต้องการทดสอบ, ความหนา, ลักษณะของหัวกดที่ใช้ (indenter) และแรงที่ใช้กดวัสดุที่นิยมใช้ทำหัวกดได้แก่ เหล็กกล้าชุบแข็ง (hardened steel), tungsten carbide หรือเพชร เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าการแช่วัสดุในสารละลายที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าความแข็งผิวมีลักษณะที่แตกต่างกันด้วยเช่นจากการรายงานของ Kanchanasita และ คณะ ค.ศ. 1998<sup>20</sup> พบว่าวัสดุที่แช่ในน้ำกลั่นมีค่าความแข็งผิวสูงกว่าวัสดุที่แช่ในน้ำลายเทียมทุก ช่วงเวลาตลอดการทดลอง ค่าความแข็งผิวที่แสดงออกมาของวัสดุอาจจะถือได้ว่าเป็นความต้านทาน ของวัสดุ<sup>21</sup> และ การเปลี่ยนแปลงความแข็งผิว ขึ้นอยู่กับ การเก็บรักษาวัสดุ และ ความต่อเนื่องของการเกิดปฏิกิริยา<sup>22, 23</sup> ความแข็งผิวของวัสดุที่บ่ม 1 สัปดาห์มีค่าสูงกว่าความแข็ง

ผิวของวัสดุที่บ่ม 1 วัน อย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นถึงค่าความแข็งผิวว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัว ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นหลังจาก ขั้นตอนการเกิดเจลาคติน และเกี่ยวข้องกับการก่อตัวอย่างต่อเนื่องของการเชื่อมต่อนองเกลืออะลูมิเนียมในวัสดุ<sup>24</sup>

การทดสอบการต้านทานแรงอัดของวัสดุทางด้านทันตกรรมค่าการต้านทานแรงอัดของซีเมนต์ทางทันตกรรมนั้นมีความสำคัญอย่างมากเพราะวัสดุต้องมีความแข็งแรงพอเพียงที่จะทนต่อแรงบดเคี้ยวค่าการต้านทานแรงอัด ปกติแล้วค่าการต้านทานแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมนั้นจะมีค่าการต้านทานแรงอัดที่ 24 ชั่วโมงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 56-65 MPa ส่วนวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุรองพื้นนั้นจากการศึกษาพบว่าที่ 24 ชั่วโมง มีค่าการต้านทานแรงอัดอยู่ระหว่าง 53-96 MPa และการทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเป็นค่าวิกฤตที่สำคัญเช่นกันที่จะบ่งบอกได้ว่าวัสดุที่เราใช้มีความแข็งแรงหรือไม่ สำหรับวัสดุที่ต้องใช้บูรณะในรอยโรคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้นจะต้องมีความทนทานและต้านทานแรงบดเคี้ยวตลอดระยะเวลาการใช้งานให้ได้นานที่สุด<sup>25, 26, 27</sup> ก่อนหน้านี้การใช้ อะมัลกัม (amalgam) เป็นตัวเลือกสำหรับการรักษาเพราะมีความแข็งแรงและมีความเสถียร แต่ในปัจจุบันได้มีวัสดุทางเลือกมากมายที่มีการปรับปรุงและพัฒนาให้ได้คุณสมบัติที่ดีกว่า อะมัลกัม เช่น มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ มีสีที่เหมือนเนื้อฟัน มีการยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี มีอัตราการก่อตัวรวดเร็ว มีการบ่มตัวที่หลากหลายเหมาะแก่การใช้งานเฉพาะ และควบคุมจัดการได้ง่าย<sup>28, 29, 30</sup> จากการศึกษาของ Cefalyd และคณะ ค.ศ. 2003<sup>31</sup> พบว่าเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ประเภทวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติด (luting cement) มีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงกว่า กลาสไอโอโนเมอร์แบบดั้งเดิม ซึ่งยี่ห้อ ProTec Cem มีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทเดียวกัน ซึ่งมีค่าสูงขึ้นจาก 1 ชั่วโมง, 1 วัน, และ 7 วัน หลังการก่อตัว ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของวันที่ 7 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งไม่มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ 1 วัน จากการเพิ่มขึ้นของค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลางนี้ทำให้สามารถอธิบายปฏิกิริยาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้ในระดับหนึ่ง และจากการศึกษาของ Ahluwalia และคณะ ค.ศ. 2012<sup>32</sup> พัฒนาสูตรของกลาสไอโอโนเมอร์ เพื่อให้เหมาะสมต่อการรักษาแบบ ART โดยมีการเติม chorhexidine diacetate salt ร้อยละ 1 ของน้ำหนักในส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม Moshaverinia และคณะ ค.ศ. 2008<sup>4</sup> มีการพัฒนาส่วนเหลวโดยการใช้ เอ็น-ไวนิลไพโรลิโดน (N-vinylpyrrolidone ,NVP) ผสมกับกรดพอลิแอซิด (polyacid) พบว่าค่าต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานดึงศูนย์กลาง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Zraikat และคณะ ค.ศ. 2011<sup>18</sup> แสดงให้เห็นว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีการเติมฟอสฟอเปปไทด์อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (CPP-ACP) พบว่าเมื่อมีการเติม CPP-ACP ที่ร้อยละ 3 และ 5 ของน้ำหนักทำให้วัสดุมีค่าการต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางลดลงเมื่อเทียบกับวัสดุกลุ่มควบคุม



### 3.4 คุณสมบัติทางการปลดปล่อยแร่ธาตุของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลาสไอโอโนเมอร์แบบดั้งเดิมเป็นที่ทราบกันดีว่ามีการปลดปล่อยไอออนที่หลากหลาย เช่น แคลเซียม โซเดียม สตรอนเตียม อะลูมิเนียม<sup>42, 43</sup> ซึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในวัสดุและพีเอชของสารละลายที่อยู่รอบๆ วัสดุ ถ้าเก็บอยู่ในกรดจะมีการปลดปล่อยไอออนออกมามากกว่าปกติ และการเปลี่ยนแปลงไอออนมีความสัมพันธ์กัน อย่างเช่น ในการทดลองการปลดปล่อยไอออนจากซีเมนต์ส่วนใหญ่จะไม่พบการปลดปล่อยแคลเซียมหรืออะลูมิเนียมในภาวะปกติตามธรรมชาติ แต่ใน 20 มิลลิโมล ของสารละลายกรดแลคติก ไอออนทั้งสองตัวจะมีการแสดงออกที่เพิ่มขึ้น<sup>42</sup> เป็นที่ยอมรับและเป็นข้อดีเกี่ยวกับการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุเพราะฟลูออไรด์ช่วยในการยับยั้งพัฒนาการของโรคฟันผุ ไอออนอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับสีของวัสดุ ซึ่งไอออนของธาตุโลหะเหล่านี้จะไปรบกวนกับความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเรซินเพราะพวกนี้มีความสัมพันธ์กับ ปฏิกิริยาฟิทรอน ซึ่งจะมีการสร้างรีแอกทีฟ ออกซิเจนสปีชี ออกมาซึ่งจะทำให้เกิดพิษได้ ฟลูออไรด์ และสตรอนเตียมจะไม่ทำให้เกิดพิษ แต่ในทางตรงข้าม คอปเปอร์ อะลูมิเนียม และ ฟิทรอน ที่ความเข้มข้นเท่ากันอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ ซึ่งความเป็นพิษจะมีมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโลหะ เช่น อะลูมิเนียม และ เหล็ก จะมีการปลดปล่อยในวัสดุที่เป็นคอมโพสิทเรซิน และเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์<sup>43</sup> กลาสไอโอโนเมอร์มีสูตรที่พัฒนาให้เข้ากับหลากหลายของกรดโพลีเมอร์ริก ประกอบไปด้วย พอลิ(อะคริลิก), พอลิ(มาลาอิก) และโพลีเมอร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอะคริลิก มาลาอิก และอิทาโคนิก พวกกรดโพลีเมอร์ ส่วนประกอบของผงแก้วพื้นฐานคือ แคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต อาจจะมีส่วนประกอบอื่นๆเช่น โซเดียมและฟอสเฟต ดังนั้นสารที่ละลายออกมาจากกลาสไอโอโนเมอร์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบเริ่มต้นของซีเมนต์ พบว่ามีการปลดปล่อยซิลิกา โซเดียม อะลูมิเนียม ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ แต่จะไม่พบแคลเซียม<sup>44</sup> แต่เมื่อศึกษาโดยใช้กรดแลคติกและสารละลายโซเดียมแลคเตท (พีเอช 4) เป็นบัฟเฟอร์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใช้กลาสไอโอโนเมอร์ที่มีสูตรแตกต่างกับสารละลายที่เป็นตัวกลาง Brookman และคณะ<sup>45</sup> ได้พบร่องรอยของแคลเซียม ซิลิกา โซเดียม และฟลูออไรด์ แต่ไม่พบฟอสเฟตทั้งนี้เป็นเพราะไม่ได้เติมลงไปในส่วนแก้วที่ใช้ในกระบวนการเตรียมซีเมนต์

#### 3.4.1 การปลดปล่อยฟลูออไรด์

ฟลูออไรด์มีผลอย่างมากต่อกระดูกในร่างกายของคน ร้อยละ 96 ของฟลูออไรด์ในร่างกายเป็นบริเวณที่มีการเกิดการพอกแร่ธาตุ (mineralized) ของเนื้อเยื่อ และคุณสมบัติของกระดูกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของฟลูออไรด์ ฟลูออไรด์ในกระดูกละลายได้น้อยและไม่

เปลี่ยนแปลงไอออนอย่างง่ายดาย แร่ธาตุในกระดูกประกอบไปด้วย สองส่วนคือ ส่วน amorphous (ไม่มีรูปร่าง,อนินทรีย์)และ ส่วนผลึกไฮดรอกซีแอฟาไทต์ (hydroxyapatite) ความสัมพันธ์ของ สัดส่วน amorphous ของกระดูกจะลดลงไปตามอายุ ฟลูออไรด์จะส่งผลต่อการเปลี่ยนระยะ amorphous ไปเป็นผลึกแอฟาไทต์ ทั้งหมดนี้เป็นหลักฐานได้ว่าฟลูออไรด์มีส่วนสำคัญในการ กระตุ้นการเจริญของกระดูก ในปี ค.ศ. 1955 ได้มีการกล่าวถึง ฟลูออไรด์ที่อยู่ในน้ำดื่มส่งผลดีต่อ กระดูกในคนที่เจริญวัยแล้ว นอกเหนือจากนี้ โซเดียมฟลูออไรด์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการ รักษาโรคกระดูกพรุน สถานะการลดลงของโซเดียมฟลูออไรด์ในกระดูกนำไปสู่การแตกหักได้หาก ได้รับบาดเจ็บหรือได้รับความชอกช้ำ ปริมาณของโซเดียมฟลูออไรด์ที่ได้รับ 40-80 มิลลิกรัมต่อวัน ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของกระดูก (trabecular-bone) โดยมีการกระตุ้นโดยตรง ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับสร้างกระดูก (osteoblasts)

สำหรับลักษณะการสมานกันของกระดูกมีหลักฐานว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ สามารถกระตุ้นการเจริญของกระดูกได้อย่างมีประสิทธิภาพในการเจริญและทำให้เติมเต็มในส่วนที่เป็นช่องว่างรอบๆ ของกระดูกเทียม และไม่มีผลใดๆ ในการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ ในการทดลองในสัตว์และคนไข้ พบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระดับที่เหมาะสมส่งผล ต่อร่างกายไปในทางที่ดี ในทางคลินิกทางด้านทันตกรรมนั้นกลาสไอโอโนเมอร์มีการใช้กันอย่าง แพร่หลายซึ่งการปลดปล่อยฟลูออไรด์นั้นมีประโยชน์ต่องานทางด้านนี้มาก<sup>44</sup> กลาสไอโอโนเมอร์ที่ ใช้ในการบูรณะฟันมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ยาวนานมากกว่า 18 เดือน การปลดปล่อย ฟลูออไรด์จะปลดปล่อยออกมาในภาวะที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะมากับโซเดียมแต่ก็อาจจะเป็น แคลเซียมได้ ฟลูออไรด์ถูกดูดซึมเข้าไปยังฟันที่อยู่ติดกับวัสดุซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างที่ มีความคงทนและแข็งแรง และฟลูออไรด์สามารถลดการเกิดโรคฟันผุได้ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา โดยการเพิ่มสารประกอบฟลูออไรด์ที่เหมาะสมลงในผลิตภัณฑ์ทางด้านทันตกรรม มีการเติม โซเดียมฟลูออไรด์ลงในน้ำดื่มที่ระดับต่างๆ เช่นในปี ค.ศ. 1987 สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ของสหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดการเติมฟลูออไรด์ที่ระดับ 4.0 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ลงในน้ำ ดื่ม ซึ่งฟลูออไรด์ไอออนสามารถเข้าไปเกาะได้ดีกับไฮดรอกซีแอฟาไทต์เข้าไปเชื่อมกับไฮดรอกซิล ไอออน ได้โครงสร้างของฟลูออไรด์ ซึ่งเรียกง่าย ๆ ว่าฟลูออแอฟาไทต์ (fluorapatite) โดยจะมี พลังงานของผลึกน้อยกว่าไฮดรอกซีแอฟาไทต์ (hydroxyapatite) นั้นหมายความว่า การสับเปลี่ยน ไอออนที่แทนที่ด้วยฟลูออแอฟาไทต์จะเปลี่ยนแปลงได้ยาก โครงสร้างของผลึกฟลูออแอฟาไทต์ มีความต้านทานต่อการสัมผัสกับกรดมากกว่าไฮดรอกซีแอฟาไทต์ เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ฟลูออไรด์ไอออน สามารถเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออนของไฮดรอกซีแอฟาไทต์ได้ เป็น ฟลูออแอฟาไทต์ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของฟันมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพราะว่าฟลูออไรด์ไอออนมี ขนาดเล็กกว่าไฮดรอกซีไอออนทำให้ง่ายต่อการแทรกเข้าไปในผลึกของแอฟาไทต์<sup>46, 47, 48</sup> ดังนั้น

ฟันที่มีการเข้าไปของฟลูออไรด์จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถต้านทานการพัฒนาของฟันผุได้<sup>44</sup>

ฟลูออไรด์มีความสำคัญมากในกลไกการป้องกันฟันที่เป็นแบบทุติยภูมิ (secondary caries) ในปี ค.ศ. 1940 Volker และคณะ<sup>49</sup> ได้สังเกตการเกิดฟันผุแบบทุติยภูมิ พบว่ามีการพัฒนาน้อยมาก ในการใช้ซิลิเกตซีเมนต์ที่ใช้บูรณะฟัน โดยการอุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการละลายทางธรรมชาติของซิลิเกตซีเมนต์ในช่องปากที่เป็นของเหลวมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะแปรผันไปตามการละลายของฟลูออไรด์ที่ออกมา ฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาจะเข้าไปในชั้นเคลือบฟัน ทำให้ทนต่อการสัมผัสกับกรด และลดการเกิดฟันผุแบบทุติยภูมิ (secondary caries) การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะฟันสามารถที่จะยับยั้งขบวนการสูญเสียแร่ธาตุแล้ว ยังยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียได้อีก เช่น ยับยั้งการสร้างอาณานิคม (colonization) และการผลิตกรด<sup>50</sup>

### 3.4.2 การปลดปล่อยอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในระหว่างการผสมและการก่อตัวของวัสดุ อะลูมิเนียมจะปลดปล่อยออกมาจากผงแก้วไปยังสารละลายกรดพอลิอะคริโนอิก ในระยะแรกของการก่อตัวของซีเมนต์จะมีอะลูมิเนียมปลดปล่อยออกมามากกว่าในระยะหลัง และพบว่ามีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับร่างกายได้น้อยเพราะว่าเป็นสารอนินทรีย์ หากมีในระดับที่สูงจะส่งผลทำให้เกิดความเป็นพิษในหลายๆ ด้าน เช่น อวัยวะที่มักเป็นเป้าหมายต่อพิษของอะลูมิเนียม ได้แก่ ปอด, กระดูก, และระบบประสาท การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า อะลูมิเนียมในระบบประสาทส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการแสดงออกของยีน โครงสร้างในเซลล์ (cytoskeletal genes) และสร้างความเสียหายต่อโปรตีน โครงสร้างในเซลล์สมอง รวมถึงเกิดใยโปรตีนชนิดฟอสเฟตสูง (phosphate-rich protein filaments) ด้วย ซึ่งใยโปรตีนชนิดนี้พบในโรคทางสมองหลายโรค อาทิ โรคสมองเสื่อม (dementia), โรคเนื้อเยื่อแข็ง (multiple sclerosis), และโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease)<sup>72</sup> การศึกษาทางด้านระบาดวิทยา (epidemiological) แสดงให้เห็นถึงภาวะโรคอัลไซเมอร์ที่มีเพิ่มมากขึ้น 1.5 เท่า ในคนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีระดับของอะลูมิเนียมในน้ำดื่มสูง (มากกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร) กว่าบริเวณที่อยู่อาศัยที่มีระดับของ อะลูมิเนียมที่น้อย (น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตาม มีการพบว่าอะลูมิเนียมมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิต ในอังกฤษการได้รับอะลูมิเนียมของวัยผู้ใหญ่ในแต่ละวันจะได้รับ 5-6 มิลลิกรัม ซึ่งหมายถึงเป็นผลรวมทั้งหมดที่ได้รับจากการดื่มน้ำ กลาสไอโอโนเมอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นมีการปลดปล่อยอะลูมิเนียมซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหา เพราะปริมาณอะลูมิเนียมที่ปลดปล่อยออกมาทั้งหมดมีปริมาณน้อยมาก และการปลดปล่อยทำให้เกิดการพอกของแร่ธาตุ (mineralized) ของเนื้อเยื่อ ในฟันหรือกระดูกได้ หลักสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการพอกของแร่ธาตุคือขนาดของไฮดรอกซีเอพาไทด์ที่

เพิ่มขึ้น และคาดว่าอะลูมิเนียมไอออนจะยังคงอยู่บนบริเวณผิวหน้าของวัสดุ<sup>44</sup> มีการรายงานการเกิดการพอกแร่ธาตุ (mineralization) ของฟัน (predentin) ในเนื้อเยื่อในที่อยู่ด้านใต้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์<sup>51</sup> และการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาหลังจากที่วัสดุก่อตัวแล้วนั้นพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ โดยเกลือของอะลูมิเนียมสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรคฟันผุได้ ประกอบไปด้วยเชื้อ *Streptococcus mutans* พบว่า ATPase จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ ฟลูออไรด์และอะลูมิเนียมทำงานร่วมกัน ในการกระตุ้นการปลดปล่อยของฟลูออไรด์และอะลูมิเนียมจากวัสดุทางทันตกรรมอาจจะมีส่วนสำคัญในการป้องกันกลไกการเกิดฟันผุได้<sup>50</sup>

### 3.4.3 การปลดปล่อยซิลิกอน

ซิลิกอนมาจากซิลิกาพบที่มีการปล่อยออกมาจากกลาสไอโอโนเมอร์ กลไกของซิลิกาในกระบวนการเผาผลาญพลังงานของมนุษย์ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จะพบว่าในเม็ดเลือดและพลาสมานั้นมีอยู่ที่ระดับ 1 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากที่จะแสดงถึงกลไกของซิลิกาในมนุษย์ เพราะซิลิกาส่วนใหญ่จะพบในอาหารตามธรรมชาติ น้ำ ฝุ่นละอองในอากาศ และซิลิกาในปริมาณต่ำพบว่าส่งผลต่อระบบหมุนเวียนเลือด รักษาผนังของหลอดเลือด ส่งผลต่อความดันโลหิตให้สมดุล ส่งเสริมการทำงานของกระดูกและฟัน เล็บ ผม โดยทำงานร่วมกับแคลเซียม ทำให้ร่างกายเจริญเติบโต มีความยืดหยุ่น ซิลิกาที่ละลายออกมาจากกลาสไอโอโนเมอร์ที่บูรณะฟันหรือที่ใช้ในการรักษากระดูกจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของร่างกายไปในทางที่ดี<sup>44</sup> Yli-Urpo และคณะ ค.ศ. 2004<sup>52</sup> ได้มีการศึกษาการปลดปล่อยของซิลิกา จากกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมและเรซิน โมดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์โดยมีการเติมสารชีวภาพ (bioactive glass) และได้มีการทดสอบการพอกแร่ธาตุของฟัน พบว่าการปลดปล่อยซิลิกามีเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ขึ้นทดสอบโดยพบว่าวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่บรรจุสารชีวภาพนั้นมีการชักนำให้เกิดการพอกแร่ธาตุของผิวหน้าของแผ่นฟันมากที่สุด จากการศึกษาของ Marczuk-Kolada และคณะ ค.ศ. 2006<sup>53</sup> พบว่าเนื้อฟันที่อยู่ติดกับวัสดุบูรณะนั้นมีการเพิ่มขึ้นของ ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอน ในขณะที่มีการลดลงของ แคลเซียมและ ฟอสฟอรัส ซึ่งองค์ประกอบบางอย่างในกลาสไอโอโนเมอร์ เช่น ธาตุอะลูมิเนียมฟลูออรีน และซิลิกอน มีแนวโน้มที่จะเข้าไปแทนที่ แคลเซียมและฟอสฟอรัสบางส่วนในแอพาไทต์จากผลการศึกษาที่พบเป็นการยืนยันสมมติฐานได้ว่าอาจจะเกิดการคืนกลับแร่ธาตุ (remineralization) ของเนื้อฟันมีความเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่ปลดปล่อยออกมาจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

การศึกษากการปลดปล่อยไอออน อื่นๆ เช่น เมื่อเรีวๆนี้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับกลไกของ สตรอนเตียม (strontium) ในโรคที่เกิดในมนุษย์ มีการคิดค้นการใช้สตรอนเตียมในปริมาณ

น้อยๆในการรักษาโรคกระดูกพรุนมานานกว่า 55 ปี<sup>54</sup> อย่างไรก็ตามลักษณะเฉพาะของสตรอนเตียม และลักษณะทางหน้าที่ทางชีวภาพนั้นยังไม่ได้มีการศึกษา แต่มีลักษณะกลไกทางเคมีที่คล้ายกับ แคลเซียมและแมกนีเซียม การปลดปล่อยไอออนออกมา การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์และของเหลวในช่องปากเป็นข้อดีทำให้เกิดการพอกแร่ธาตุ (mineralized) ของ เนื้อเยื่อ และมีความน่าเป็นไปได้ที่สตรอนเตียมจะมีส่วนในการพอกแร่ธาตุ ของฟันเนื่องจาก คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกับแคลเซียม<sup>55</sup> อย่างไรก็ตามผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ยังไม่ได้มีการศึกษา การศึกษาก่อนหน้านี้คือการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Fuji LC) แสดงให้เห็นว่าสตรอนเตียมมีพิษต่อเซลล์กระดูกของคน<sup>56, 57</sup> และความเป็นพิษ ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ มาจากสารอินทรีย์โมโนเมอร์ที่หลงเหลืออยู่<sup>58, 59</sup> ได้มีการ รายงานการทำงานร่วมกันของฟลูออไรด์และสตรอนเตียมพบว่าสามารถลดปริมาณการเกิดฟันผุลง ได้<sup>60</sup> และสตรอนเตียมในไฮดรอกซีแอพาไทต์สามารถป้องกันการเกิดการละลายของกระดูกได้<sup>61</sup>

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นจะเห็นได้ว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ ดีหลายประการดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการปรับปรุงพัฒนาวัสดุชนิดนี้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี ของโนเวลกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ (ที่มีการเติมโคโคซาน) จึงเป็นที่น่าสนใจศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางด้าน กายภาพและเคมีเพื่อเป็นประโยชน์ ในการพัฒนาและปรับปรุงสูตรวัสดุบูรณะฟันต่อไป ในอนาคต

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ การก่อตัว (setting time), การเปลี่ยนแปลงของพีเอช (surface pH)
2. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของวัสดุโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ความแข็งพื้นผิวหน้า (surface hardness), ค่าการต้านทานแรงอัด (compressive strength), ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง (diametral tensile strength) ของวัสดุโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
3. การศึกษาคุณสมบัติด้านการปลดปล่อยแร่ธาตุ ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอนของโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

### สมมติฐานการวิจัย

การเติมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติพื้นฐาน คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และคุณสมบัติการปลดปล่อยแร่ธาตุของวัสดุ

### ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการศึกษาแยกเป็นสามส่วนคือ ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุคือศึกษาการก่อตัว, พีเอชของผิววัสดุ ส่วนที่สองศึกษาคูณสมบัติทางด้านกายภาพคือศึกษาคูณสมบัติค่าความแข็งผิว, ค่าต้านทานแรงอัด, ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง ส่วนที่สาม ศึกษาคุณสมบัติทางด้าน การปลดปล่อยแร่ธาตุ คือ การปลดปล่อยฟลูออไรด์, การปลดปล่อยอะลูมิเนียม และการปลดปล่อยซิลิกอน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ความรู้ใหม่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโนเวลกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และเป็นการศึกษานำร่องเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### 1. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

##### 1.1 ระยะเวลาการก่อตัว (setting time)

ชิ้นทดสอบถูกเตรียมโดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม สักส่วนในส่วนผงโดยน้ำหนักและจำนวนชิ้นทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งผงกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผงโคโคซาน และผงอัลบูมินตามสัดส่วน มาผสมให้เข้ากันในแคลซูลบั่นอะมัลกัม บั่นที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 12 วินาที เพื่อให้ส่วนผงต่างๆ ผสมเข้ากันได้ดี นำส่วนผงที่ได้เก็บในหลอดปราศจากเชื้อ โดยการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวทำตามวิธีการของ Hurrell-Gillingham และคณะ<sup>62</sup> กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แบบดั้งเดิม จะชั่งมาผสมครั้งละ 1 ชิ้น โดยมีสัดส่วนระหว่างส่วนผงต่อส่วนเหลว 1.17 : 1 และตักใส่ในแบบพิมพ์โลหะปลายเปิดสำหรับการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร ที่วางบนฐานของเครื่องทดสอบ โดยจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มการผสม ตัวเครื่องที่ใช้ทดสอบคือ เครื่องมือทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุทางด้านทันตกรรม (Gillmore apparatus) ปลดอยเข็มสำหรับทดสอบเข็มที่ 1 (initial needle) ให้ตกทะลุซีเมนต์จนกระทั่ง เข็มไม่สามารถทะลุผ่านเนื้อซีเมนต์ได้ บันทึกเวลาตั้งแต่เริ่มผสมเป็นระยะเวลาเริ่มการก่อตัว (initial setting time) จากนั้นเลื่อนเข็มไปทดสอบด้วยเข็มที่ 2 (final needle) ด้วยวิธีเดียวกัน จนเข็มไม่สามารถทะลุผ่านเนื้อซีเมนต์ได้ บันทึกเวลาตั้งแต่เริ่มผสมเป็น ระยะเวลาการก่อตัวสิ้นสุด (final setting time) (การปลดอยเข็มลงมาจะปลดอยห่างกันครั้งละ 5 วินาที) สำหรับการทดสอบในกลุ่มของกลุ่มเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผสมเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีสัดส่วนระหว่างส่วนผงต่อส่วนเหลว 1.4 : 1 และจะเริ่มจับเวลาเมื่อเริ่มฉายแสงลงบนวัสดุ

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนผงกลาสไอโอโนเมอร์ ไคโตซานและอัลบูมินในส่วนผงของชั้นทดสอบ โดยน้ำหนัก และจำนวนชั้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	ผงกลาสไอโอโนเมอร์	ไคโตซาน	อัลบูมิน	จำนวน(ชั้น)
1. G, RG 6	100%	-	-	
2. GF, RGF	85%	15%	-	6
3. GFA, RGFA	80%	15%	5%	6
4. GK, RGK	85%	15%	-	6
5. GKA, RGKA	80%	15%	5%	6

G = กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

RG = เรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

F = ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 545 kDa

K = ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 62 kDa

A = โปรตีนอัลบูมิน

## 1.2 การทดสอบการเปลี่ยนแปลง พีเอชบนพื้นผิววัสดุ (surface pH)

ทำการเตรียมชั้นทดสอบดังตารางที่ 1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงพีเอชตามวิธีการของ Wasson และ Nicholson<sup>63</sup> โดยกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ทำการผสมแล้วบรรจุใส่แม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน (Teflon mould) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่อไล่อากาศและนำลูกตุ้มน้ำหนักคงที่วางทับลงบนกระจกสไลด์เป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบ 3 นาทีจะตั้งเป็นเวลา 0 แล้วจับเวลาต่อไปเมื่อครบ 1 นาที ทำการวัดพีเอช โดยหยดน้ำกลั่นชนิดขจัดไอออนลงไปที่ผิววัสดุปริมาตร 50 ไมโครลิตร นำอิเล็กโทรดสำหรับวัดพื้นผิวหน้าวัสดุ (flatten electrode) แตะบนผิววัสดุอ่านค่าและบันทึกค่าพีเอช เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดคือ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 360 นาที และ 24 ชั่วโมง กลุ่มเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำการผสมและบรรจุใส่แม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน เช่นเดียวกันจากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบแล้วฉายแสงด้านละ 40 วินาที เมื่อฉายแสงเสร็จจับเวลาจนครบ 1 นาทีและทำการวัดพีเอช ตามเวลาที่กำหนด เช่นเดียวกัน คือ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 360 นาที และ 24 ชั่วโมง



## 2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของวัสดุ

### 2.1 การทดสอบความแข็งผิววัสดุ (surface hardness)

ทำการเตรียมชิ้นทดสอบดังตารางที่ 1 ทดสอบความแข็งผิววัสดุตามวิธีการของ Kanchanasita และคณะ<sup>20</sup> โดยทำการผสมแล้วบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน (Teflon mould) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่อไล่ฟองอากาศและนำลูกค้อนน้ำหนักงที่วางทับลงบนกระจกสไลด์แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงแกะชิ้นทดสอบออกจากแบบพิมพ์ กลุ่มเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผสมและบรรจุใส่แบบพิมพ์เช่นเดียวกันจากนั้นฉายแสงด้านละ 40 วินาที นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงแกะชิ้นทดสอบ ทั้งหมดถูกนำไปวัดค่าความแข็งผิว (surface hardness) ตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ 1 ชั่วโมง, 1, 5, 7, 14, 21, 28 วัน วัดพื้นผิวด้วยเครื่อง micro hardness tester วัดแบบ Vickers แรงกด 10 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ในแต่ละครั้งที่วัดจะวัดซ้ำสองครั้งและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย เมื่อวัดเสร็จระหว่างรอช่วงเวลาการวัดในวันถัดไปชิ้นทดสอบจะถูกเก็บอยู่ในน้ำกลั่นชนิดขจัดไอออน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดพลาสติกปราศจากเชื้อขนาด 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

### 2.2 การทดสอบการต้านทานแรงอัด (compressive strength)

ทำการเตรียมชิ้นทดสอบดังตารางที่ 1 ทดสอบการต้านทานแรงอัดตามวิธีการของ Moshaverinia และคณะ<sup>4</sup> โดยกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ทำการผสมแล้วบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน (Teflon mould) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หนา 6 มิลลิเมตร จากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่อไล่ฟองอากาศและนำลูกค้อนน้ำหนักงที่วางทับลงบนกระจกสไลด์แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงแกะชิ้นทดสอบออกจากแบบพิมพ์ กลุ่มเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ผสมและบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน เช่นเดียวกันจากนั้นฉายแสงด้านละ 40 วินาที บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงแกะชิ้นทดสอบ ทั้งหมดถูกนำไปวัดค่าการต้านทานแรงอัด โดยวัดที่ 1, 24, 48 ชั่วโมง โดยชิ้นงานที่ถูกวิเคราะห์แล้ว จะถูกทิ้งไปและช่วงเวลาถัดไปจะใช้ชิ้นงานชิ้นใหม่โดยจะแช่ในน้ำกลั่นชนิดขจัดไอออนและบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส จนครบตามเวลาที่กำหนด ในการวัดค่าการต้านทานแรงอัดจะใช้เครื่อง universal

testing machine โดยใช้โหลดเซลล์ 5 KN ความเร็วการเดินเครื่อง 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าที่ได้เมื่อขึ้นทดสอบ (specimen) แตกหัก เป็นค่าแรงโหลดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก (ค่า P) นำค่าที่ได้ไปเข้าสู่สูตร  $CS = 4P/\pi d^2$  โดย  $P =$  ค่าแรงโหลด  
 $d =$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขึ้นทดสอบ

### 2.3 การทดสอบการต้านแรงดึงศูนย์กลาง (diametral tensile strength)

ทำการเตรียมขึ้นทดสอบดังตารางที่ 1 ทดสอบการต้านทานแรงอัดตามวิธีการของ Moshaverinia และคณะ<sup>4</sup> โดยกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ทำการผสมแล้วบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน (Teflon mould) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่อไล่ฟองอากาศและนำลูกค้อนน้ำหนักคงที่วางทับลงบนกระจกสไลด์แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงแกะขึ้นทดสอบออกจากแบบพิมพ์ กลุ่มเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผสมและบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทฟลอน เช่นเดียวกันจากนั้นฉายแสงด้านละ 40 วินาที บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงแกะขึ้นทดสอบออก ทั้งหมดถูกนำไปวัดค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง โดยวัดที่ 1, 24, 48 ชั่วโมง โดยชิ้นงานที่ถูกวิเคราะห์แล้วจะถูกทิ้งไปและช่วงเวลาถัดไปจะใช้ชิ้นงานชิ้นใหม่โดยจะแช่ในน้ำกลั่นชนิดขจัดไอออนและบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส จนครบตามเวลาที่กำหนด วัดค่าการต้านแรงดึงศูนย์กลาง diametral tensile strength ด้วยเครื่อง universal testing machine ตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ 1, 24, 48 ชั่วโมง โดยใช้โหลดเซลล์ 5 KN ความเร็วการเดินเครื่อง 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าที่ได้เมื่อขึ้นทดสอบ (specimen) แตกหัก เป็นค่าแรงโหลดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหัก (ค่า P) นำค่าที่ได้ไปเข้าในสูตร  $DTS = 2P/\pi dt$  โดย  $P =$  ค่าแรงโหลด  
 $d =$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขึ้นทดสอบ  
 $t =$  ขนาดความหนาของขึ้นทดสอบ

## 3. การทดสอบการปลดปล่อยแร่ธาตุ ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม ซิลิกอน

### 3.1 การทดสอบการปลดปล่อยแร่ธาตุ ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม ซิลิกอน

ขึ้นทดสอบถูกซั่งและผสมกับ ไคโตซาน และอัลบูมิน จำนวนขึ้นทดสอบในแต่ละกลุ่มดังตารางที่ 1 กลุ่ม กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมทำการผสมแล้วบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำ

ด้วยเทปลอน (Teflon mould) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จากนั้นอัดกับกระจกสไลด์ที่หุ้มด้วยพลาสติกผิวเรียบเพื่อไล่ฟองอากาศและนำลูกตุ้มน้ำหนักคงที่วางทับลงบนกระจกสไลด์แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงแกะชิ้นทดสอบออกจากแบบพิมพ์ กลุ่มเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผสมและบรรจุแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเทปลอน เช่นเดียวกันจากนั้นฉายแสงด้านละ 40 วินาที นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงแกะชิ้นทดสอบออกจากแบบพิมพ์ ตัดแต่งส่วนเกินซึ่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา 2 ครั้งโดยไม่ซ้ำตำแหน่งเดิม และบันทึกผล จากนั้นนำแต่ละชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อชนิดขจัดไอออนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ชิ้นทดสอบที่บรรจุอยู่ในขวดพลาสติกนำเข้าเครื่องเขย่าความเร็ว 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับให้แห้ง 2-3 ครั้งด้วยกระดาษทิชชูปราศจากขน จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อชนิดขจัดไอออนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดใหม่โดยจะเปลี่ยนน้ำที่ 3, 5, 7 วัน นำน้ำที่ผ่านการแช่ชิ้นทดสอบแล้วมาทำการวัดปริมาณฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอน

### 3.2 การวัดปริมาณฟลูออไรด์จากน้ำตัวอย่าง

การวัดปริมาณฟลูออไรด์จากน้ำตัวอย่างใช้ตามวิธีการของ Tyler และ Poole<sup>64</sup> เริ่มต้นจากการปรับมาตรฐานของฟลูออไรด์อิเล็กโทรดที่อยู่ในช่วงที่ต้องการวัด (1-10 หรือ 10-100 ส่วนในล้านส่วน) โดยใช้สารละลายฟลูออไรด์มาตรฐาน 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมล 1.5 มิลลิลิตร ปรับค่าความชันให้อยู่ในช่วง 54 mV/decade แล้วจึงวัดฟลูออไรด์จากน้ำชนิดขจัดไอออนที่ผ่านการแช่ชิ้นทดสอบโดยใช้น้ำปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับไฮโดรคลอริก 0.1 โมล 1.5 มิลลิลิตร บรรจุในภาชนะพลาสติกซึ่งใช้แท่งแม่เหล็ก เพื่อผสมสารละลายทั้งหมดตลอดเวลาขณะวัด โดยตั้งไว้บนเครื่องคนแม่เหล็ก ปรับให้แท่งแม่เหล็กคนสารละลายในอัตราเดียวกันตลอดการทดลองบันทึกค่าที่อ่านได้หลังจากจุ่มอิเล็กโทรด 2 นาที และทำการปรับมาตรฐานทุก 1 ชั่วโมงเครื่องมือที่ใช้ Expandable ion Analyzer EA 940 (Orion Research) U.S.A.

การคำนวณปริมาณฟลูออไรด์เริ่มต้นจากการนำค่าที่วัดได้จากเครื่องซึ่งมีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) มาคำนวณเป็นปริมาณฟลูออไรด์หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) (1 ppm = 1mg/L) แต่ในงานวิจัยแช่ชิ้นทดสอบ 10 มิลลิลิตร ดังนั้นสามารถคำนวณเป็น มิลลิกรัม

ฟลูออไรด์โดยการนำค่า ppm ที่วัดได้หารด้วย 100 ( $x \text{ ppm} = x/100 \text{ mgF}$ ) นำฟลูออไรด์ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม มาคำนวณต่อนำมาหารด้วยน้ำหนักชิ้นทดสอบ

### 3.3 การวัดปริมาณอะลูมิเนียมและซิลิกอน

ใช้เทคนิค ICP-OES (Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) ตามการศึกษาของ Czamecka และคณะ<sup>42</sup> หลักการของ ICP-OES คือ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออนด้วยพลาสมาอะตอมหรือไอออนที่เกิดขึ้นจะถูกกระตุ้นให้เปลวแสงออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆ แสงที่ได้จะเป็นแสงที่มีหลายความยาวคลื่น (Polychromatic light) ซึ่งจะถูกแยกด้วย Diffractive optics ให้เป็นแสงความยาวคลื่นเดี่ยว (Monochromatic light) และถูกตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ (Detector) ต่อไปโดยความเข้มแสง จะแปรผันตรงกับ ปริมาณธาตุ

### 4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้มาทดสอบการแจกแจงของข้อมูลพบที่มีความแตกต่างของความแปรปรวนของข้อมูลและข้อมูลส่วนใหญ่มีการแจกแจงเป็นปกติ (Normal distribution) จึงเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA) และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแผนวัดซ้ำ (ANOVA with repeated measurement) ร่วมกับการเปรียบเทียบความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (scheffe 's multiple comparison test) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 3

### ผลการวิจัย

#### 1. คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

##### 1.1 ผลการก่อกำของวัสดุ (setting time)

###### 1.1.1 ผลการก่อกำของวัสดุคัลลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

การศึกษาครั้งนี้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองช่วงเวลาคือ ศึกษาช่วงเริ่มการก่อกำของวัสดุ (initial setting) และช่วงที่สองคือช่วงสิ้นสุดการก่อกำของวัสดุ (final setting) จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการเริ่มก่อกำวัสดุกลุ่ม GF, GFA พบว่ามีอัตราการก่อกำที่เร็วขึ้นกว่าเดิมคือ 132, 139 วินาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม G ซึ่งมีค่าการก่อกำเริ่มต้น 151 วินาที ส่วนกลุ่ม GK, GKA นั้นพบว่ามีค่าการก่อกำเริ่มต้นที่ช้ากว่าทุกกลุ่มโดยมีค่าการก่อกำเริ่มต้นคือ 164, 176 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากลุ่มการทดลองที่มีการเติมไคโตซานโมเลกุลขนาด 545 kDa (F) จะมีการก่อกำเริ่มต้นที่เร็วที่สุดส่วนกลุ่มการทดลองที่เติมไคโตซานโมเลกุลขนาด 62 kDa (K) นั้นจะมีการก่อกำเริ่มต้นที่ใช้เวลานานที่สุด เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติในช่วงเวลาการก่อกำเริ่มต้นพบว่าภายในกลุ่ม G, GF, GFA ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญภายในกลุ่ม ส่วนกลุ่ม G, GK มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญภายในกลุ่ม และกลุ่ม GK, GKA มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญภายในกลุ่มเช่นเดียวกัน โดยเรียงลำดับจากความเร็วการก่อกำเริ่มต้นได้ดังต่อไปนี้คือกลุ่ม GF, GFA, G, GK, GKA และจากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาสิ้นสุดการก่อกำนั้นทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทุกกลุ่มจะมีค่าระยะเวลาสิ้นสุดการก่อกำอยู่ระหว่าง 261-282 วินาที ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมแสดงค่าเฉลี่ย  
ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะสิ้นสุดการก่อตัว

กลุ่ม	ค่าการก่อตัวเริ่มต้น (วินาที)	ค่าสิ้นสุดการก่อตัว (วินาที)
G	151 ± 4 <sup>a,b</sup>	261 ± 11
GF	132 ± 5 <sup>a</sup>	272 ± 19
GFA	139 ± 18 <sup>a</sup>	271 ± 27
GK	164 ± 4 <sup>b,c</sup>	271 ± 15
GKA	176 ± 11 <sup>c</sup>	282 ± 16

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่แสดงตามแนวสดมภ์ หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOWA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

### 1.1.2 ผลการก่อตัวของวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

วัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์โดยทั่วไปเป็นวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมแต่มีการเติม HEMA และตัว photo initiator ลงไป เวลาผสมส่วนผงและส่วนเหลวเข้าด้วยกันจะเกิดปฏิกิริยากรด-ด่าง และเพื่อทำให้เกิดการก่อตัวจะกระตุ้นด้วยแสงทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันและก่อตัวอย่างสมบูรณ์ ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าเวลาดำสุดของการทำงาน (minimum working time) คือ 160 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง และใช้แสงในการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการก่อตัวเป็นเวลา 40 วินาที จากการทดลองในวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทำการผสมวัสดุและบรรจุใส่แม่พิมพ์โลหะจากนั้นทำการฉายแสงบนผิววัสดุ 40 วินาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการฉายแสงลงไปบนผิววัสดุจะมีการก่อตัวทันทีซึ่งผลของระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุจะทดสอบได้เฉพาะระยะเวลาดำสุดการก่อตัวโดยผลของทุกกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แสดง  
ค่าเฉลี่ยระยะเวลาสิ้นสุดการก่อตัว

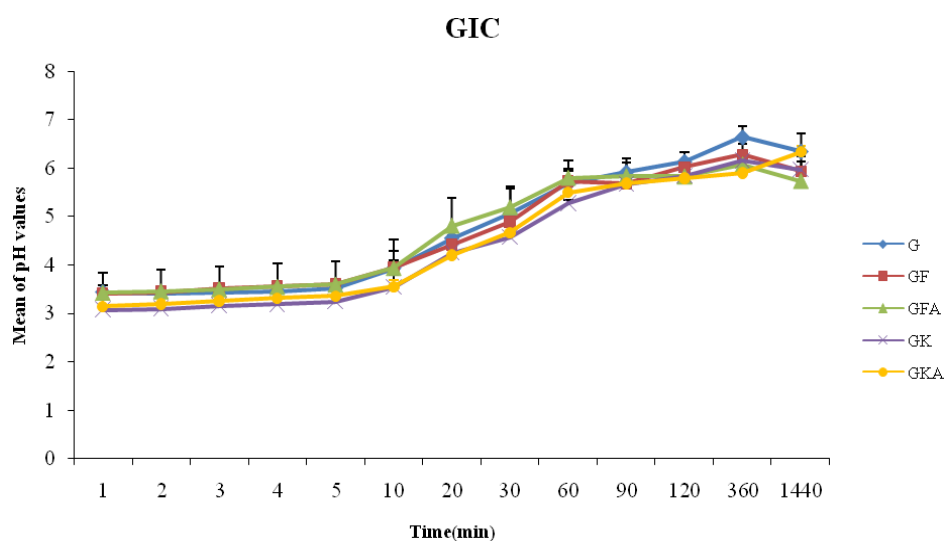
กลุ่ม	ค่าสิ้นสุดการก่อตัว (วินาที)
RG	84 ± 2
RGF	84 ± 2
RGFA	84 ± 1
RGK	85 ± 2
RGKA	84 ± 3

หมายเหตุ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

## 1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุ (surface pH)

### 1.2.1 ผลการทดลองของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพีเอชของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นี้เป็นตัวบ่งชี้ค่าพื้นฐานอีกหนึ่งค่าที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุซึ่งวัสดุที่ศึกษาเมื่อทำการผสม วัสดุจะเกิดปฏิกิริยา กรด-ด่าง ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้จะส่งผลทำให้เกิดการโพลีเมอร์ไรเซชันซึ่งวัสดุที่ใช้บูรณะพื้นควรมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่ช้ามากก็นั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันได้<sup>40</sup> ผลการทดสอบการวัดค่าพีเอชพบว่าค่า พีเอช มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่ 1 -5 นาทีแรกและมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกกลุ่มการทดลอง และพบว่าค่าพีเอชจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการวัดที่ 1 ชั่วโมง พบว่าค่าพีเอชจะคงที่และที่ 24 ชั่วโมง พบว่าค่าพีเอช จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่า กลุ่ม GK มีค่าพีเอชต่ำที่สุดซึ่งจะแตกต่างจากกลุ่ม G ส่วนภายในกลุ่ม GK, GKA, GF, GFA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกันกับภายในกลุ่ม GKA, GF, GFA, G ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 4



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ช่วงเวลาต่างๆ  
(mean  $\pm$  sd, n=6)

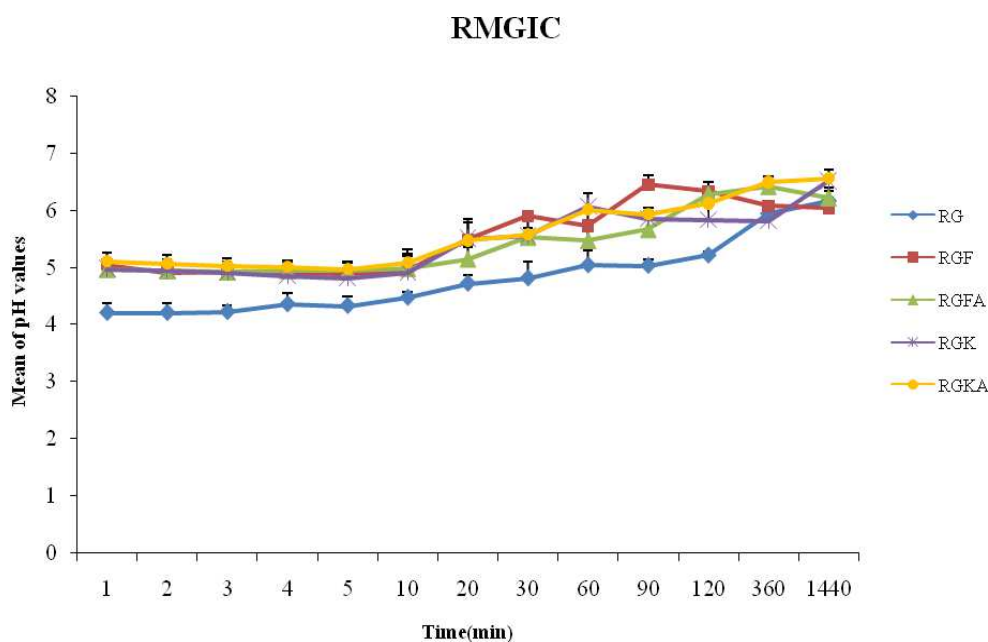
ตารางที่ 4 แสดงค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ช่วงเวลาต่างๆ  
(mean  $\pm$  sd, n=6)

เวลา(นาที)	กลุ่ม				
	G	GF	GFA	GK	GKA
1	3.4 $\pm$ 0.2	3.4 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.4	3.1 $\pm$ 0.2	3.2 $\pm$ 0.2
2	3.4 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.5	3.1 $\pm$ 0.2	3.2 $\pm$ 0.2
3	3.4 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.2	3.3 $\pm$ 0.2
4	3.5 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.2	3.3 $\pm$ 0.2
5	3.5 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.2	3.4 $\pm$ 0.2
10	3.9 $\pm$ 0.4	3.9 $\pm$ 0.2	3.9 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.3	3.6 $\pm$ 0.2
20	4.6 $\pm$ 0.2	4.4 $\pm$ 0.2	4.8 $\pm$ 0.6	4.3 $\pm$ 0.3	4.2 $\pm$ 0.2
30	5.1 $\pm$ 0.6	4.9 $\pm$ 0.2	5.2 $\pm$ 0.4	4.6 $\pm$ 0.2	4.7 $\pm$ 0.1
60	5.7 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 0.3	5.8 $\pm$ 0.4	5.3 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.1
90	5.9 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 0.1	5.7 $\pm$ 0.1
120	6.1 $\pm$ 0.2	6.0 $\pm$ 0.1	5.8 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.2
360	6.7 $\pm$ 0.2	6.3 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 0.2	6.2 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.2
1440	6.4 $\pm$ 0.4	5.9 $\pm$ 0.2	5.7 $\pm$ 0.2	6.0 $\pm$ 0.3	6.3 $\pm$ 0.1



### 1.2.2 ผลการทดลองวัสดุกลุ่มเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ในการทดสอบวัดค่าพีเอชของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ คือ การเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วง 1-5 นาทีแรกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของวัสดุจะเป็นไปในแนวเดียวกันคือมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อทำการวัดพีเอชที่ 1 ชั่วโมง พบว่าค่าพีเอชจะคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่มากนักที่ 24 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่า กลุ่ม RG มีค่าพีเอชต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ภายในกลุ่ม RGF, RGFA, RGK, RGKA มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในรูปที่ 4 และ ตารางที่ 5



รูปที่ 4 แสดงค่าพีเอชของพื้นผิววัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ช่วงเวลาต่างๆ  
(mean  $\pm$  sd, n=6)

ตารางที่ 5 แสดงค่าพีเอชพื้นผิวของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

(mean  $\pm$  sd, n=6)

เวลา(นาที)	กลุ่ม				
	RG	RGF	RGFA	RGK	RGKA
1	4.2 $\pm$ 0.2	5.1 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.1	5.1 $\pm$ 0.2
2	4.2 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.1	5.1 $\pm$ 0.2
3	4.2 $\pm$ 0.1	4.9 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.0	5.0 $\pm$ 0.2
4	4.4 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.0	5.0 $\pm$ 0.2
5	4.3 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.1	4.8 $\pm$ 0.0	5.0 $\pm$ 0.2
10	4.5 $\pm$ 0.1	4.9 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.2	4.9 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.2
20	4.7 $\pm$ 0.2	5.5 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.3	5.5 $\pm$ 0.2
30	4.8 $\pm$ 0.3	5.9 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.2	5.6 $\pm$ 0.3	5.6 $\pm$ 0.2
60	5.0 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 0.3	5.5 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 0.2	6.0 $\pm$ 0.1
90	5.0 $\pm$ 0.1	6.5 $\pm$ 0.2	5.7 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.1	5.9 $\pm$ 0.2
120	5.2 $\pm$ 0.1	6.3 $\pm$ 0.1	6.3 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 0.3	6.1 $\pm$ 0.1
360	5.9 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 0.1	6.4 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.3	6.5 $\pm$ 0.2
1440	6.2 $\pm$ 0.2	6.0 $\pm$ 0.2	6.2 $\pm$ 0.1	6.5 $\pm$ 0.2	6.6 $\pm$ 0.3

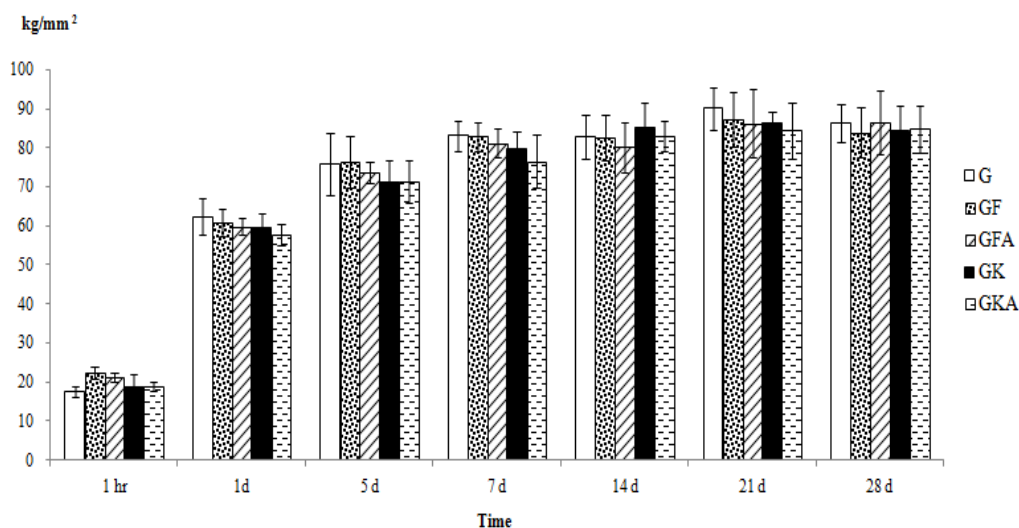
## 2. คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

### 2.1 ผลความแข็งผิว (surface hardness)

#### 2.1.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งพื้นผิวของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวัดค่าความแข็งพื้นผิวของวัสดุใน 7 ช่วงเวลา คือ 1 ชั่วโมง และ 1, 5, 7, 14, 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งในการวัดแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดซ้ำสองครั้งและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยและบันทึกผลได้ผลดังรูปที่ 5 และตารางที่ 6 ซึ่งเมื่อทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่าทุกกลุ่มของการทดลองมีค่าความแข็งพื้นผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงเวลาพบว่าค่าความแข็งพื้นผิวที่ 1 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 18-23 kg/mm<sup>2</sup> ที่ 1 วันมีค่าความแข็งผิวอยู่ในช่วง 58-62 kg/mm<sup>2</sup> ที่ 5 วันมีค่าความแข็งผิวอยู่ในช่วง 71-76 kg/mm<sup>2</sup> และพบว่าค่าความแข็งผิวจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยจนถึงวันที่ 28 ซึ่งมีค่าความแข็งพื้นผิวอยู่ในช่วง 71-90 kg/mm<sup>2</sup> และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบมีผลต่อความแข็งพื้นผิวซึ่งค่าความแข็งพื้นผิวที่ 1 ชั่วโมงจะให้ค่าน้อยที่สุดแตกต่างจากทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าความแข็งผิวเฉลี่ยของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ช่วงเวลาต่างๆ (mean ± sd, n=6)

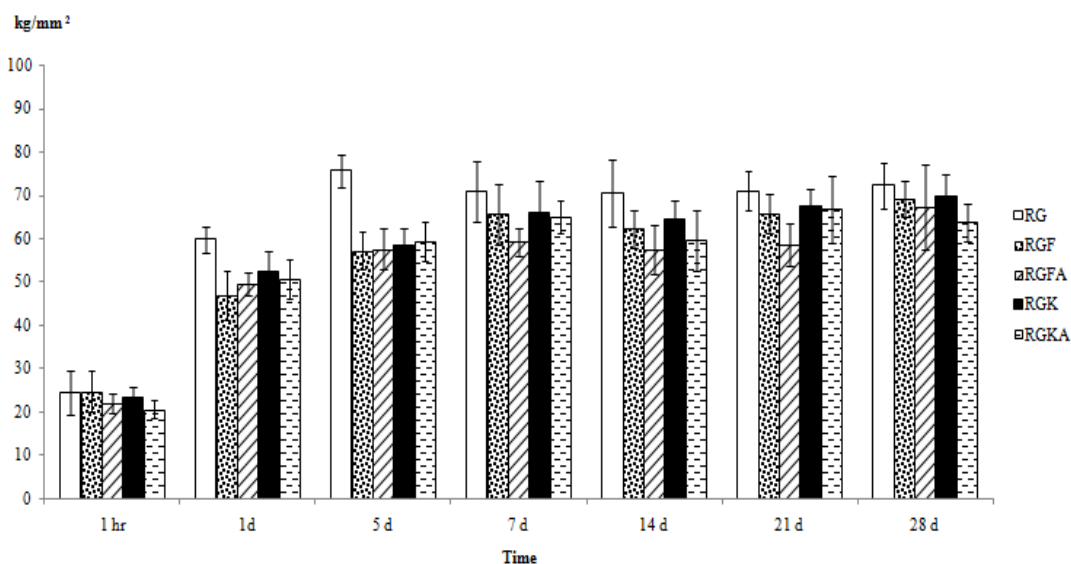
ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งพื้นผิวของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ช่วงเวลาต่างๆ

กลุ่ม	ค่าความแข็งผิว (Kg/mm <sup>2</sup> )						
	1 ชม.	1 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
G	18 ± 1 <sup>aA</sup>	62 ± 5 <sup>B</sup>	76 ± 8 <sup>C</sup>	83 ± 4 <sup>CD</sup>	83 ± 6 <sup>CD</sup>	90 ± 5 <sup>D</sup>	86 ± 5 <sup>CD</sup>
GF	23 ± 2 <sup>cA</sup>	61 ± 3 <sup>B</sup>	76 ± 7 <sup>C</sup>	83 ± 4 <sup>C</sup>	83 ± 6 <sup>C</sup>	87 ± 7 <sup>C</sup>	84 ± 6 <sup>C</sup>
GFA	21 ± 1 <sup>bcA</sup>	60 ± 2 <sup>B</sup>	74 ± 3 <sup>C</sup>	81 ± 4 <sup>CD</sup>	80 ± 6 <sup>CD</sup>	86 ± 9 <sup>D</sup>	87 ± 8 <sup>D</sup>
GK	19 ± 3 <sup>abA</sup>	59 ± 4 <sup>B</sup>	71 ± 6 <sup>C</sup>	80 ± 4 <sup>CD</sup>	85 ± 7 <sup>D</sup>	86 ± 3 <sup>D</sup>	85 ± 6 <sup>D</sup>
GKA	19 ± 1 <sup>abA</sup>	58 ± 3 <sup>B</sup>	71 ± 5 <sup>C</sup>	77 ± 7 <sup>CD</sup>	83 ± 4 <sup>D</sup>	85 ± 7 <sup>D</sup>	85 ± 6 <sup>D</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

### 2.1.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งพื้นผิวของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

การศึกษาครั้งนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 7 ช่วงเวลาคือ 1 ชั่วโมง และ 1, 3, 5, 7, 14, 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 6 และตารางที่ 7 พบว่าในกลุ่มของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์จะให้ผลความแข็งพื้นผิวที่แตกต่างกันคือกลุ่มควบคุม RG จะมีค่าความแข็งพื้นผิวสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ทุกกลุ่มการทดลอง และพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความแข็งผิวของวัสดุทุกกลุ่มค่อนข้างจะมีค่าที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยที่ 1 ชั่วโมง จะให้ค่าความแข็งผิวไม่แตกต่างกันระหว่างแต่ละกลุ่มการทดลองโดยมีค่าความแข็งพื้นผิวอยู่ในช่วง 21-25  $\text{kg/mm}^2$  ผลการทดลองที่ 1 วัน ให้ค่าความแข็งพื้นผิวอยู่ในช่วง 47-60  $\text{kg/mm}^2$  ผลการทดลองที่ 5 วันมีค่าอยู่ในช่วง 58-76  $\text{kg/mm}^2$  และผลการทดลองที่ 28 วันพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 69-72  $\text{kg/mm}^2$  ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าความแข็งพื้นผิวของกลุ่ม RG มีค่าสูงที่สุดและมีความแตกต่างจาก กลุ่ม RGF, RGFA, RGK, RGKA อย่างมีนัยสำคัญ แต่ถึงอย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าเมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งพื้นผิวที่ 28 วัน พบว่าวัสดุทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันของความแข็งพื้นผิวอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งพื้นผิวของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ช่วงเวลาต่างๆ (mean  $\pm$  sd, n=6)

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ที่ช่วงเวลาต่างๆ

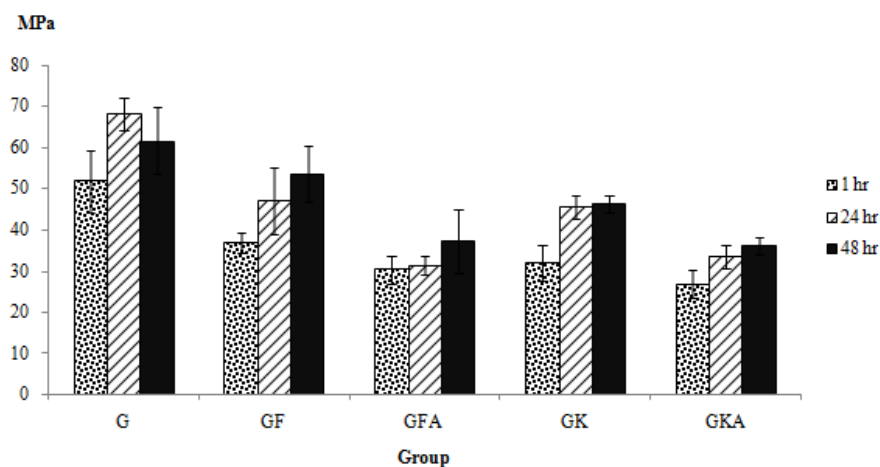
กลุ่ม	ค่าความแข็งผิว (Kg/mm <sup>2</sup> )						
	1 ชม.	1 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
RG	24 ± 5 <sup>A</sup>	60 ± 3 <sup>bB</sup>	76 ± 4 <sup>bC</sup>	71 ± 7 <sup>bBC</sup>	70 ± 8 <sup>bBC</sup>	71 ± 5 <sup>bBC</sup>	72 ± 5 <sup>C</sup>
RGF	25 ± 5 <sup>A</sup>	47 ± 6 <sup>ab</sup>	57 ± 4 <sup>abC</sup>	66 ± 7 <sup>abCD</sup>	62 ± 4 <sup>abCD</sup>	66 ± 5 <sup>abCD</sup>	69 ± 4 <sup>D</sup>
RGFA	22 ± 2 <sup>A</sup>	50 ± 3 <sup>ab</sup>	58 ± 5 <sup>abC</sup>	59 ± 3 <sup>abC</sup>	57 ± 6 <sup>abC</sup>	59 ± 5 <sup>abC</sup>	67 ± 10 <sup>C</sup>
RGK	23 ± 3 <sup>A</sup>	52 ± 5 <sup>abB</sup>	58 ± 4 <sup>abC</sup>	66 ± 7 <sup>abCD</sup>	65 ± 4 <sup>abCD</sup>	68 ± 4 <sup>abCD</sup>	70 ± 5 <sup>D</sup>
RGKA	21 ± 2 <sup>A</sup>	51 ± 5 <sup>ab</sup>	59 ± 5 <sup>abC</sup>	65 ± 4 <sup>abC</sup>	60 ± 7 <sup>abBC</sup>	67 ± 8 <sup>abC</sup>	64 ± 4 <sup>C</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

## 2.2 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงอัด (compressive strength)

### 2.2.1 ผลการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

ทำการศึกษาโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ 1, 24, 48 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มการทดลองต่างๆ เป็นดังนี้คือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในแบบเดียวกันคือที่ 1 ชั่วโมง ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าต้านทานแรงอัดต่ำที่สุดและจะแตกต่างจาก 24 และ 48 ชั่วโมง แต่ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง นั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ยกเว้นกลุ่ม GFA พบว่าทั้ง 3 ช่วงเวลาในการทดลองค่าต้านทานแรงอัดมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาคุณค่าต้านทานแรงอัดระหว่างกลุ่มในแต่ละช่วงเวลาพบว่ากลุ่มการทดลองที่มีการเติมไคโตซานและอัลบูมินมีค่าการต้านทานแรงอัดลดลงทุกกลุ่มแต่ยกเว้นที่ช่วงเวลา 48 ชั่วโมง ในกลุ่ม GF มีค่าการต้านทานแรงอัดแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 7 และตารางที่ 8



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดตั้งเดิมทดสอบที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง (mean ± sd, n=6)

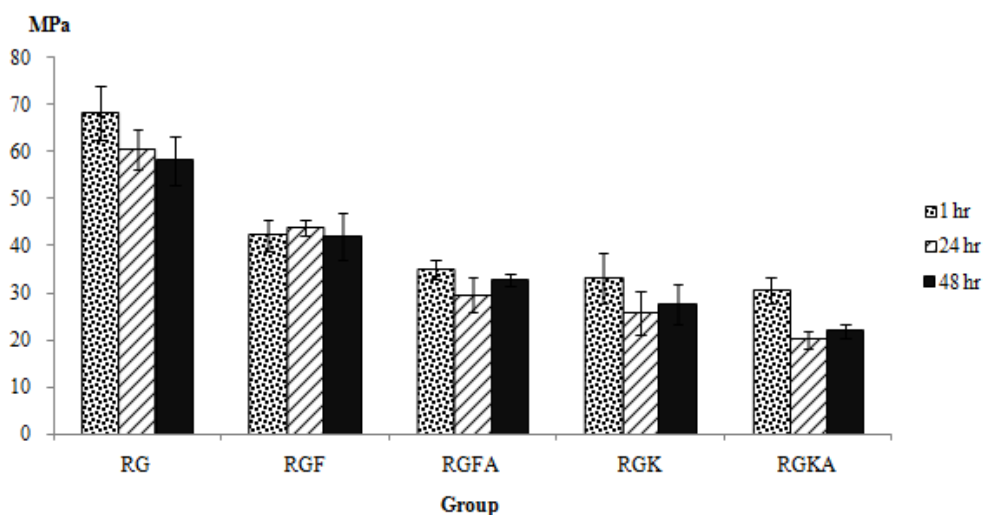
ตารางที่ 8 สรุปค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดตั้งเดิมทดสอบที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง

กลุ่ม	ค่าต้านทานแรงอัด (MPa)		
	1 ชม.	24 ชม.	48 ชม.
G	52 ± 8 <sup>cA</sup>	68 ± 4 <sup>cB</sup>	62 ± 8 <sup>cAB</sup>
GF	37 ± 3 <sup>bA</sup>	47 ± 8 <sup>bB</sup>	54 ± 7 <sup>bcB</sup>
GFA	30 ± 4 <sup>abA</sup>	31 ± 2 <sup>aA</sup>	37 ± 8 <sup>aA</sup>
GK	32 ± 4 <sup>abA</sup>	46 ± 3 <sup>bB</sup>	46 ± 2 <sup>abB</sup>
GKA	27 ± 3 <sup>aA</sup>	33 ± 3 <sup>aB</sup>	36 ± 2 <sup>aB</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  ( mean ± sd, n=6)

## 2.2.2 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงอัดของวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ทำการศึกษาโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ 1, 24, 48 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มการทดลองต่างๆ เป็นดังนี้คือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในแบบเดียวกันคือที่ 1 ชั่วโมง ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าต้านทานแรงอัดสูงที่สุดและจะมีค่าลดลงที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ยกเว้นในกลุ่ม RGF และ RGK พบว่าทั้งสามช่วงเวลามีค่าการต้านทานแรงอัดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการพิจารณาผลการทดลองภายในแต่ละช่วงเวลาพบว่าทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทดลองกลุ่มที่มีการเติมไคโตซานและกลุ่มที่มีการเติมไคโตซานและอัลบูมินให้ค่าการต้านทานแรงอัดลดลงทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมดังแสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 9



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง (mean  $\pm$  sd, n=6)

ตารางที่ 9 สรุปค่าการต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่  
ช่วงเวลา 1, 24, 48 ชั่วโมง

กลุ่ม	ค่าต้านแรงอัด (MPa)		
	1 ชม.	24 ชม.	48 ชม.
RG	68 ± 6 <sup>cB</sup>	61 ± 4 <sup>dAB</sup>	58 ± 5 <sup>dA</sup>
RGF	42 ± 3 <sup>bA</sup>	44 ± 2 <sup>cA</sup>	42 ± 5 <sup>cA</sup>
RGFA	35 ± 2 <sup>bB</sup>	30 ± 4 <sup>bA</sup>	33 ± 1 <sup>bAB</sup>
RGK	33 ± 5 <sup>abA</sup>	26 ± 5 <sup>abA</sup>	28 ± 4 <sup>abA</sup>
RGKA	31 ± 3 <sup>abB</sup>	20 ± 2 <sup>aA</sup>	22 ± 2 <sup>aA</sup>

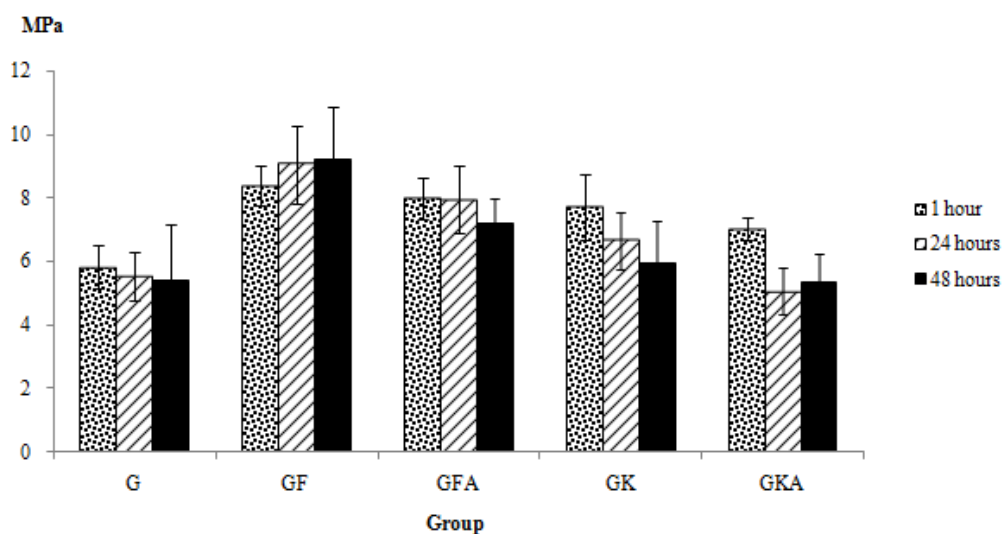
หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

## 2.3 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง (diametral tensile strength)

### 2.3.1 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

ทำการศึกษาโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือ 1, 24, 48 ชั่วโมง เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้งสามช่วงเวลากการทดลองวัสดุมีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางไม่แตกต่างกัน แต่ยกเว้นกลุ่มGK และ GKA พบว่าที่ 1 ชั่วโมง ให้ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงกว่าที่ 24 และ 48 ชั่วโมง และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมโคโคซานร่วมกับวัสดุจะทำให้วัสดุมีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเพิ่มขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติภายในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ พบว่าเมื่อมีการเติมโคโคซานและอัลบูมินร่วมกับวัสดุจะทำให้วัสดุมีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่ม GF จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 9 และตารางที่ 10





รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเฉลี่ยของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (mean ± sd, n=6)

ตารางที่ 10 สรุปค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเฉลี่ยของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

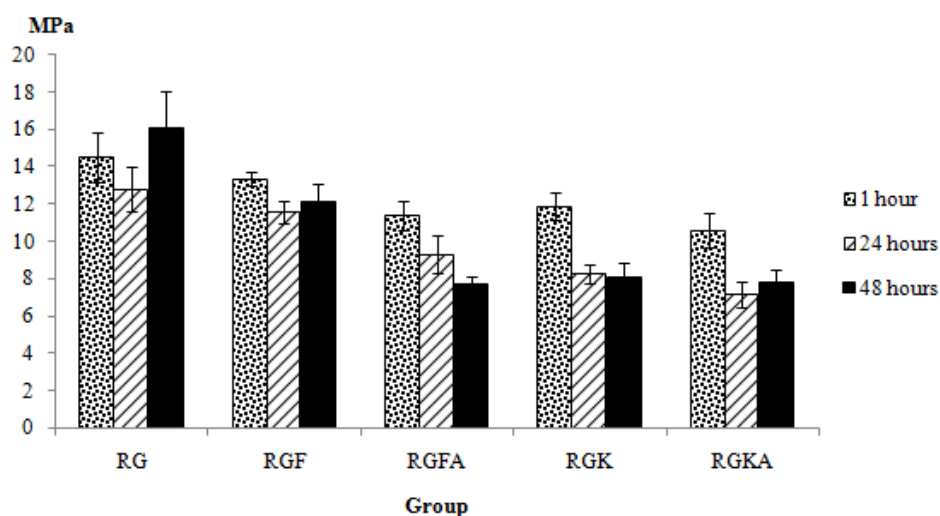
กลุ่ม	ค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง (MPa)		
	1 ชม.	24 ชม.	48 ชม.
G	5.8 ± 0.7 <sup>aA</sup>	5.6 ± 0.8 <sup>aA</sup>	5.4 ± 1.8 <sup>aA</sup>
GF	8.4 ± 0.6 <sup>cA</sup>	9.1 ± 1.2 <sup>cA</sup>	9.2 ± 1.6 <sup>bA</sup>
GFA	8.0 ± 0.6 <sup>bcA</sup>	8.0 ± 1.1 <sup>bcA</sup>	7.2 ± 0.8 <sup>abA</sup>
GK	7.7 ± 1.1 <sup>bcB</sup>	6.7 ± 0.9 <sup>abAB</sup>	6.0 ± 1.3 <sup>aA</sup>
GKA	7.0 ± 0.4 <sup>abB</sup>	5.1 ± 0.7 <sup>aA</sup>	5.4 ± 0.9 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

### 2.3.2 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ทำการทดสอบ 3 ช่วงเวลาคือ 1, 24, 48 ชั่วโมง พบว่าทุกกลุ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันคือ ที่ 1 ชั่วโมงจะมีค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงที่สุด และที่ 24, 48 ชั่วโมง จะมีค่าลดลง ยกเว้นกลุ่ม RGFA พบว่าทั้ง 3 ช่วงเวลามีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางแตกต่างกัน จากผลการ

ทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมโคโคซานร่วมกับวัสดุพบว่าทำให้วัสดุมีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางที่ลดลงเล็กน้อย เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาพบว่าที่ 1 ชั่วโมง กลุ่ม RG, RGF มีค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงสุดคือ 14.55, 13.37 MPa แตกต่างจากกลุ่ม RGFA, RGK, RGKA ซึ่งมีค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง 11.36, 11.86, 10.57 MPa ตามลำดับ และภายในกลุ่ม RGF, RGK ไม่มีความแตกต่างกัน ผลการทดลองที่ 24 ชั่วโมง พบว่ากลุ่ม RG, RGF มีค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลางสูงสุดคือ 8.24, 7.17 MPa ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากกลุ่ม RGFA, RGK, RGKA ที่มีค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง 9.30, 8.24, 7.17 MPa อย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองที่ 48 ชั่วโมง กลุ่ม RG ให้ค่าที่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆคือ 16.06 MPa และแตกต่างจากกลุ่ม กลุ่ม RGF มีค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง 12.13 MPa และแตกต่างจากกลุ่ม RGFA, RGK, RGKA ซึ่งค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง 7.71, 8.07, 7.76 MPa ซึ่งภายในกลุ่ม RGFA, RGK, RGKA ไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 10 และตารางที่ 11



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเฉลี่ยกลางของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (mean  $\pm$  sd, n=6)

ตารางที่ 11 สรุปค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเฉลี่ยของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลุ่ม	ค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง (MPa)		
	1 ซม.	24 ซม.	48 ซม.
RG	14.6 ± 1.3 <sup>cAB</sup>	12.8 ± 1.2 <sup>cA</sup>	16.1 ± 2.0 <sup>cB</sup>
RGF	13.4 ± 0.4 <sup>bcB</sup>	11.6 ± 0.6 <sup>cA</sup>	12.1 ± 1.0 <sup>baA</sup>
RGFA	11.4 ± 0.8 <sup>aC</sup>	9.3 ± 1.0 <sup>bbB</sup>	7.7 ± 0.4 <sup>aA</sup>
RGK	11.9 ± 0.7 <sup>abB</sup>	8.2 ± 0.5 <sup>abA</sup>	8.1 ± 0.8 <sup>aA</sup>
RGKA	10.6 ± 0.9 <sup>aB</sup>	7.2 ± 0.7 <sup>aA</sup>	7.8 ± 0.7 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก(สดมภ์) และตัวพิมพ์ใหญ่(แถว) ที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=6)

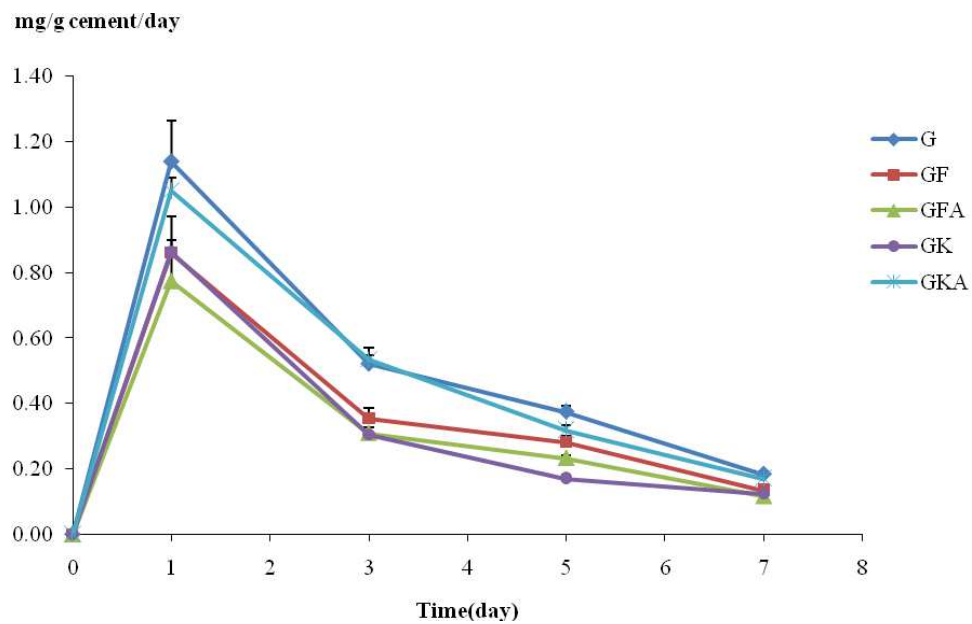
### 3. คุณสมบัติทางด้านการปลดปล่อยแร่ธาตุ

#### 3.1 ผลการปลดปล่อยแร่ธาตุของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

##### 3.1.1 ผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของฟลูออไรด์ต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เหมือนกัน โดยในช่วงแรกมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุด และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นลักษณะ burst effect ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ 24-72 ชม. ดังแสดงในกราฟที่ 11 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาแต่ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมานั้นมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ในวันที่ 1 ทุกกลุ่มมีอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุด และในวันที่ 1, 3, 7 กลุ่ม G, GKA มีอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม GF, GFA, GK และปลดปล่อยในรูปแบบเดียวกันคือ กลุ่ม G, GKA จะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุดในวันที่ 1 ซึ่งในกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญกับกลุ่ม GF, GFA, GK ส่วนการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ณ วันที่ 5 พบว่าในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีการ

ปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาต่างกันทุกกลุ่ม โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้คือ G, GKA, GF, GFA, GK ซึ่งแสดงในกราฟที่ 11 และตารางที่ 12 จากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่ากลุ่ม G, GKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญภายในกลุ่ม แต่ทั้งสองกลุ่มมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุดและแตกต่างจากกลุ่ม GF, GFA, GK อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ณ ช่วงเวลา 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

ตารางที่ 12 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณฟลูออไรด์ค่อน้ำหนักขึ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

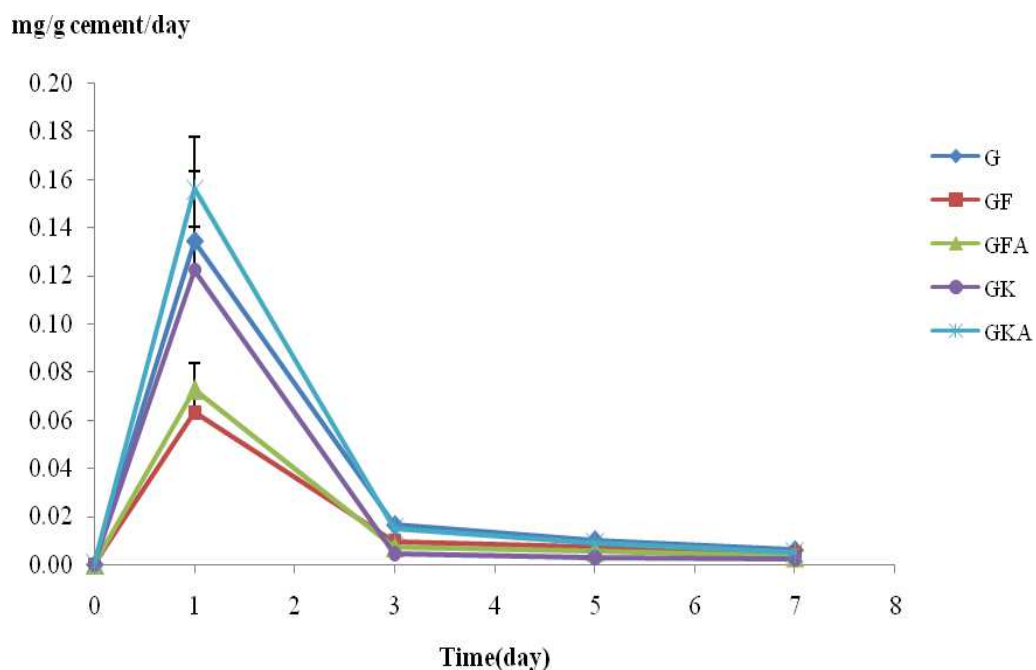
กลุ่ม	ปริมาณฟลูออไรด์ (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
G	1.14±0.13 <sup>b</sup>	0.52±0.03 <sup>b</sup>	0.38±0.02 <sup>c</sup>	0.18±0.01 <sup>b</sup>
GF	0.86±0.04 <sup>a</sup>	0.36±0.03 <sup>a</sup>	0.28±0.02 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>
GFA	0.78±0.08 <sup>a</sup>	0.31±0.02 <sup>a</sup>	0.23±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.00 <sup>a</sup>
GK	0.86±0.11 <sup>a</sup>	0.31±0.02 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>
GKA	1.05±0.04 <sup>b</sup>	0.54±0.04 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>d</sup>	0.17±0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=5)

### 3.1.2 ผลการปลดปล่อยอะลูมิเนียมของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

อัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณอะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของอะลูมิเนียมต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 12 และตารางที่ 13 อัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมค่อน้ำหนักซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการปลดปล่อยอะลูมิเนียมที่เหมือนกัน โดยจะมีการปลดปล่อยออกมาสูงที่สุดในวันที่ 1 และจะมีการปลดปล่อยออกมาลดลงอย่างรวดเร็วที่วันที่ 3 โดยพบว่าในกลุ่ม G, GK และ GKA จะปลดปล่อยออกมาสูงกว่ากลุ่ม GF และ GFA ในวันที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในกราฟที่ 12 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาแต่ปริมาณอะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมานั้นมีความต่างกัน กล่าวคือ ในวันที่ 1 ทุกกลุ่มมีอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาสูงที่สุด ให้ผลการทดลองดังนี้คือ ณ วันที่ 1 พบว่ามีการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาสูงที่สุดในกลุ่ม GKA, G, GK และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่ม GF และ GFA และ ณ วันที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยอะลูมิเนียมลดลงกว่าวันที่ 1 โดยกลุ่ม G, GKA, GK, GFA มีการปลดปล่อยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และกลุ่ม GF มีการปลดปล่อยออกมาน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ และลดลงเรื่อยๆจนถึงวันที่ 7 ดังแสดงในตารางที่ 13 และจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่าการปลดปล่อยอะลูมิเนียมของกลุ่ม G มีความ

แตกต่างจากกลุ่ม GK และ GKA อย่างไม่มีนัยสำคัญแต่จะมีความแตกต่างจากกลุ่ม GF, GFA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดตั้งเค็ม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

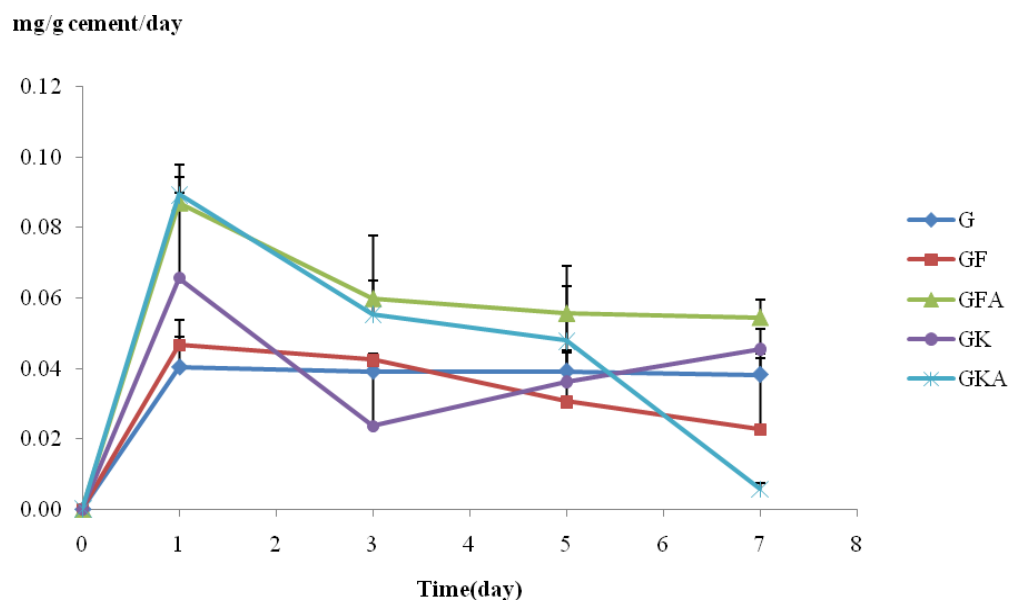
ตารางที่ 13 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

กลุ่ม	ปริมาณอะลูมิเนียม (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
G	0.13 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>c</sup>
GF	0.06 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>b</sup>
GFA	0.07 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
GK	0.12 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
GKA	0.16 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=5)

### 3.1.3 ผลการปลดปล่อยซิลิกอนของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

อัตราการปลดปล่อยซิลิกอนแบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณซิลิกอนที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของซิลิกอนต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ การปลดปล่อยซิลิกอนของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกัน โดยจะพบว่าในกลุ่ม GK มีการปลดปล่อยต่างจากกลุ่มอื่นโดยจะปล่อยซิลิกอนเพิ่มขึ้นที่วันที่ 5 และ วันที่ 7 และพบว่ากลุ่ม GFA จะมีค่าการปลดปล่อยที่สูงที่สุดแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ ดังแสดงในกราฟที่ 13 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยซิลิกอนออกมาแต่ปริมาณซิลิกอนที่ปล่อยออกมานั้นมีความต่างกัน กล่าวคือ ในวันที่ 1 ทุกกลุ่มมีอัตราการปลดปล่อยซิลิกอนออกมาสูงที่สุด ให้ผลการทดลองดังนี้คือ ณ วันที่ 1 และ 3 มีการปลดปล่อยซิลิกอนเป็นไปในรูปแบบเดียวกันคือ กลุ่ม G, GF, GK มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จะแตกต่างจากกลุ่ม GFA, GKA ซึ่งแสดงใน รูปที่ 13 และตารางที่ 14 และจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่า การปลดปล่อยซิลิกอนของกลุ่ม GFA จะแตกต่างจากกลุ่ม G, GF, GK อย่างมีนัยสำคัญ แต่กลุ่ม GFA กับ GKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยซีลีเนียมแบบรายวันของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

ตารางที่ 14 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณซีลีเนียมต่อน้ำหนักชิ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม

กลุ่ม	ปริมาณซีลีเนียม (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
G	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>
GF	0.05 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>ab</sup>	0.03 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>
GFA	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
GK	0.07 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	0.02 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
GKA	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.05 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>

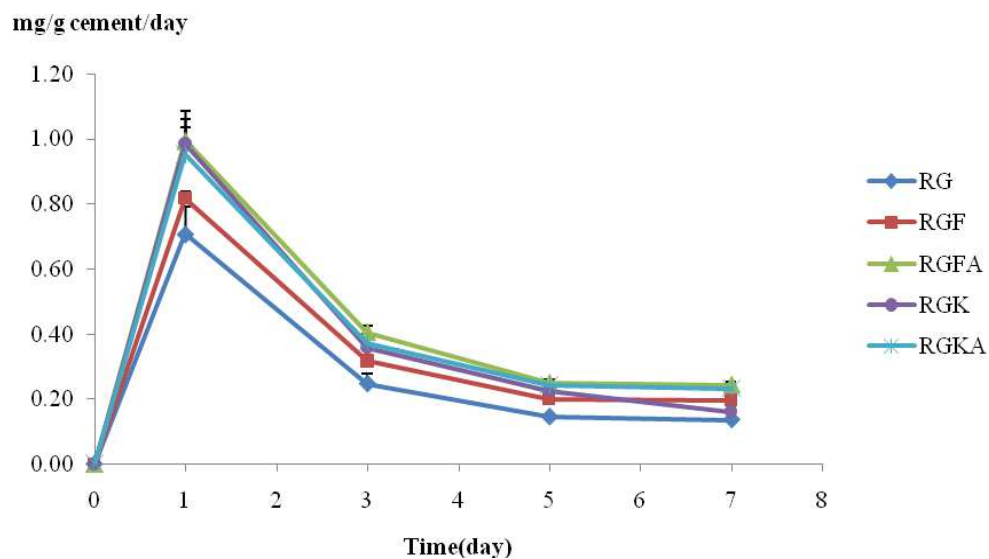
หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean  $\pm$  sd, n=5)



### 3.2 ผลการปลดปล่อยแร่ธาตุของวัสดุเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

#### 3.2.1 การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของฟลูออไรด์ต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ อัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เหมือนกัน โดยในช่วงแรกมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุด และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นลักษณะ burst effect โดยจะมีการปลดปล่อยออกมาสูงที่สุดในช่วง 24-72 ชม. แรก ดังแสดงในกราฟที่ 14 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมไลโทซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาแต่ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมานั้นมีความต่างกัน กล่าวคือ ในวันที่ 1 ทุกกลุ่มมีอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาสูงที่สุด และพบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลุ่ม RG จะมีปริมาณน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ ทุกกลุ่ม แต่ยกเว้น ณ วันที่ 1 กลุ่ม RG มีความแตกต่างจากกลุ่ม RGF อย่างไม่มีนัยสำคัญ ณ วันที่ 3 และ 5 ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์จะลดลงแต่เป็นไปในแบบเดียวกันคือ กลุ่ม RG แตกต่างจากทุกกลุ่ม และ กลุ่ม RGF, RGK มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และภายในกลุ่ม RGFA, RGK, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และ ณ วันที่ 7 การปลดปล่อยฟลูออไรด์ของทุกกลุ่มจะมีความแตกต่างกันยกเว้นในกลุ่ม RGFA, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่า กลุ่ม RG จะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่น้อยที่สุดซึ่งจะแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่ม RGF, RGK มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และ RGK, RGKA, RGFA ทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยฟลูออไรด์แบบรายวันของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

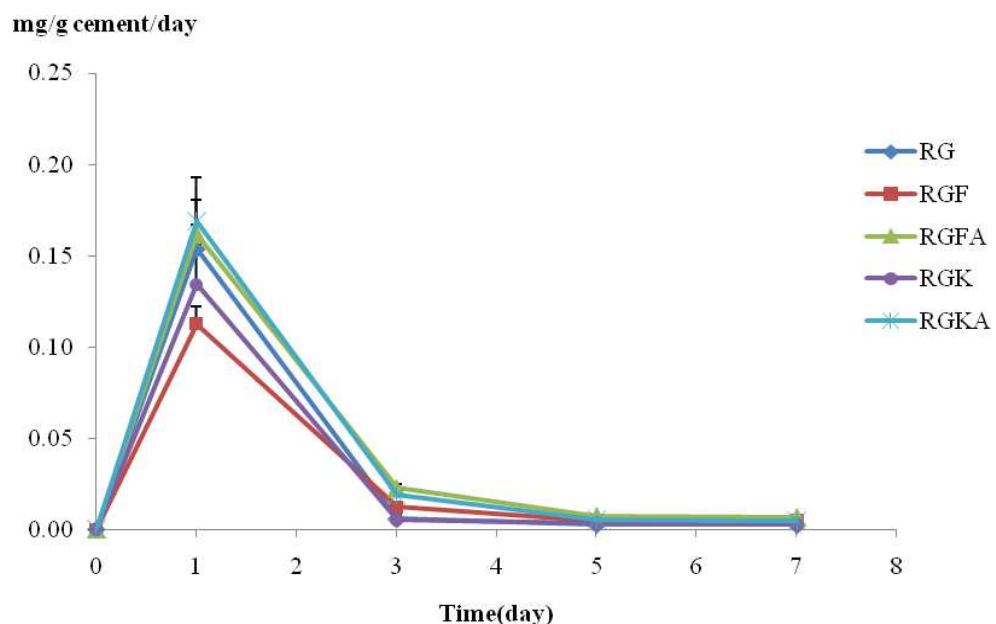
ตารางที่ 15 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักชิ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลุ่ม	ปริมาณฟลูออไรด์ (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
RG	0.71 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.25 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.15 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.14 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
RGF	0.82 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	0.32 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.20 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.20 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
RGFA	0.99 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	0.41 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.25 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.24 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>
RGK	0.99 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	0.36 $\pm$ 0.04 <sup>bc</sup>	0.23 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0.16 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
RGKA	0.95 $\pm$ 0.08 <sup>bc</sup>	0.37 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0.24 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.23 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean  $\pm$  sd, n=5)

### 3.2.2 ผลการปลดปล่อยอะลูมิเนียมของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

อัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณอะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของอะลูมิเนียมต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ อัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการปลดปล่อยอะลูมิเนียมที่เหมือนกัน โดยในช่วงแรกที่ 24 ชั่วโมง มีการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาสูงที่สุด และจะลดลงอย่างรวดเร็ว ณ วันที่ 3 ดังแสดงในกราฟที่ 15 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมไคโตซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาแต่ปริมาณอะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมานั้นมีความต่างกัน กล่าวคือ ในวันที่ 1 ทุกกลุ่มมีอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาสูงที่สุด และ ณ วันที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยอะลูมิเนียมออกมาน้อยมาก โดยมีความแตกต่างกันดังนี้ กลุ่ม RG, RGK แตกต่างจากกลุ่ม RGF, RGFA, RGKA และกลุ่ม RGFA, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ณ วันที่ 5 กลุ่ม RG, RGK แตกต่างจากกลุ่ม RGF, RGFA, RGKA ณ วันที่ 7 กลุ่ม RG, RGK แตกต่างจากกลุ่ม RGF, RGKA, RGFA และจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่ากลุ่มการทดลองที่มีการเติมไคโตซานและโปรตีนอัลบูมินนั้นทุกกลุ่มมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยอะลูมิเนียมแบบรายวันของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

ตารางที่ 16 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

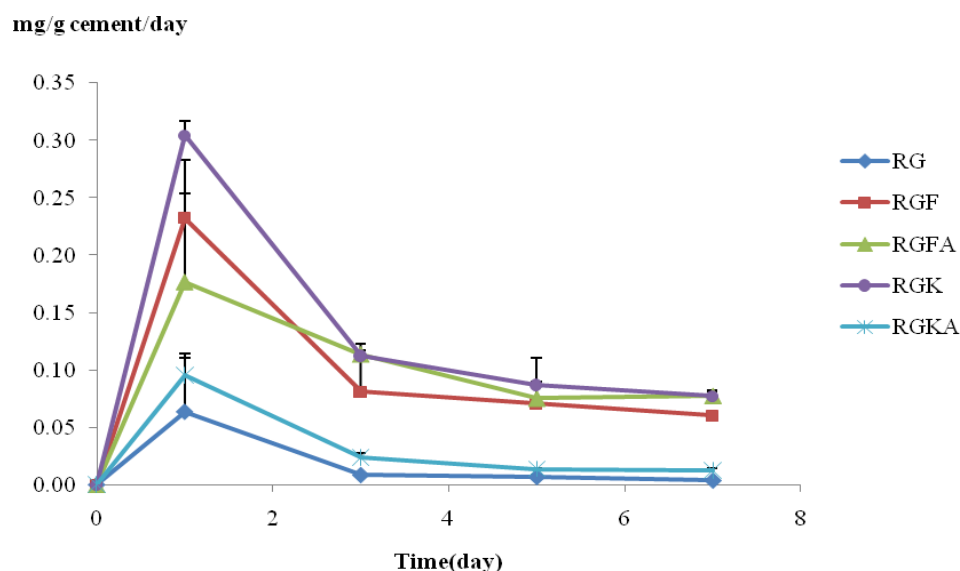
กลุ่ม	ปริมาณอะลูมิเนียม (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
RG	0.15±0.01 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
RGF	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.01±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>bc</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>
RGFA	0.16±0.02 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>c</sup>	0.01±0.00 <sup>d</sup>	0.01±0.00 <sup>c</sup>
RGK	0.13±0.02 <sup>ab</sup>	0.01±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
RGKA	0.17±0.02 <sup>b</sup>	0.01±0.00 <sup>c</sup>	0.01±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเซฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean ± sd, n=5)

### 3.2.3 ผลการปลดปล่อยซิลิกอนของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

อัตราการปลดปล่อยซิลิกอนแบบรายวันทั้ง 5 กลุ่มจะทดสอบตั้งแต่หลังการผสม ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วันและปริมาณซิลิกอนที่ปล่อยออกมาจะนำมาคำนวณเป็นมิลลิกรัมของซิลิกอนต่อมิลลิกรัมซีเมนต์ อัตราการปลดปล่อยซิลิกอนต่อน้ำหนักซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบการปลดปล่อยซิลิกอนที่เหมือนกัน โดยในช่วงแรกมีการปลดปล่อยซิลิกอนออกมาสูงที่สุด และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นลักษณะ burst effect ดังแสดงในกราฟที่ 16 ทั้งนี้วัสดุที่มีการผสมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินร่วมด้วยนั้นก็ยังคงมีการปลดปล่อยซิลิกอนออกมาแต่ปริมาณซิลิกอนที่ปล่อยออกมานั้นมีความต่างกันได้ผลการทดลองดังนี้คือ ณ วันที่ 1 โดยภายในระหว่างกลุ่ม ของกลุ่ม RG, RGFA, RGKA และกลุ่ม RGF, RGFA และในกลุ่ม RGF, RGK นั้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ณ วันที่ 3 พบว่ากลุ่ม RG, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จะแตกต่างจากกลุ่ม RGF, RGFA, RGK อย่างมีนัยสำคัญ ณ วันที่ 5 การปลดปล่อยเป็นไปในแบบเดียว โดยกลุ่ม RG, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และจะแตกต่างจากกลุ่ม RGF, RGFA, RGK อย่างมีนัยสำคัญ และ ณ วันที่ 7 ทุกกลุ่มจะมีปริมาณการปลดปล่อยซิลิกอนที่แตกต่างยกเว้นกลุ่ม RGFA และ RGK มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และจากการทดสอบทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ พบว่า RG, RGKA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่จะแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่ม RGF,

RGFA มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และกลุ่ม RGK มีการปลดปล่อยซีลีคอนออกมาสูงที่สุดแตกต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 16 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยซีลีคอนแบบรายวันของเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ณ วันที่ 1, 3, 5, 7 วัน (mean  $\pm$  sd, n=5)

ตารางที่ 17 สรุปการทดสอบทางสถิติของปริมาณซีลีคอนต่อน้ำหนักชิ้นทดสอบแบบรายวัน ณ วันที่ 1, 3, 5 และวันที่ 7 ของวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

กลุ่ม	ปริมาณซีลีคอน (mg/g cement/day)			
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
RG	0.06 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
RGF	0.23 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0.08 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>
RGFA	0.18 $\pm$ 0.11 <sup>ab</sup>	0.11 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.08 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.08 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>
RGK	0.30 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.11 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.09 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	0.08 $\pm$ 0.00 <sup>d</sup>
RGKA	0.10 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรยกภาษาอังกฤษที่ต่างกันภายในเวลาเดียวกัน (สดมภ์) หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยสถิติวิเคราะห์ความแตกต่างชนิดพหุแบบเชฟ (one way ANOVA with Scheffe comparison) ที่  $p < 0.05$  (mean  $\pm$  sd, n=5)

## บทที่ 4

### บทวิจารณ์

ผลการทดลองการทดสอบการวัดระยะเวลาการก่อตัวพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมจะมีค่าการก่อตัวเริ่มต้น (initial setting time) ที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มโดยกลุ่มที่มีการเติมโคซานโมเลกุลขนาดใหญ่ (454 kDa) จะมีค่าการก่อตัวเริ่มต้นที่เร็วกว่ากลุ่มที่มีการเติมโคโตซานโมเลกุลขนาดเล็ก (62kDa) แต่อย่างไรก็ตามค่าระยะเวลาการก่อตัวสิ้นสุด (final setting time) นั้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ในกลุ่มที่มีการเติมโคโตซานโมเลกุลขนาดใหญ่มีการก่อตัวเร็วกว่านั้นเชื่อว่าจะเป็นผลมาจากโคโตซานโมเลกุลขนาดใหญ่ดูดน้ำได้มากทำให้เกิดความหนืดมากกว่าจึงทำให้เกิดการก่อตัวเร็วขึ้นในช่วงเริ่มต้น และในกลุ่ม GKA พบว่ามีค่าการก่อตัวเริ่มต้นที่นานที่สุดอาจจะเป็นเพราะโคโตซานโมเลกุลขนาดเล็กมีการละลายได้ดีกับกรด และเกิดปฏิกิริยากันระหว่าง โคโตซาน, อัลบูมิน และกรด ทำให้ในกลุ่มนี้มีการยั้งระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ในส่วนการวัดค่าพีเอช ซึ่งผลจากการทดลองที่แสดงในกราฟทั้งหมดนั้นเป็นการวัดที่ใช้เทคนิคเดียวกันกับ Wasson และ Nicolson<sup>63</sup> แต่ก็จะมีข้อจำกัดในการวัดค่าพีเอชบนผิววัสดุเพราะเป็นเรื่องที่ยากพอสมควรที่จะวัดพื้นผิววัสดุที่เป็นของแข็ง และต้องใช้ข้อเล็กโทรดแบบหัวเรียบเป็นตัววัด และพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการทดลองครั้งนี้จะมีลักษณะเหมือนกันกับการศึกษาของ Wasson และ Nicolson<sup>63</sup> คือค่าพีเอชจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-5 นาทีแรกและจะมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงแต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาอื่นๆที่ใช้การวัดค่าพีเอชแตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้คือการศึกษานี้ของ Kent และ Wilson<sup>66</sup> ไม่ได้วัดการเปลี่ยนแปลงพีเอชจากพื้นผิวโดยตรงแต่นำน้ำที่ได้จากการแช่วัสดุที่ก่อตัวตามช่วงเวลาต่างๆ ออกมาวัดค่าพีเอช

การทดสอบค่าความแข็งพื้นผิวของวัสดุผลการทดลองในครั้งนี้ใช้การวัดตามวิธีของ Kanchanasita และคณะ<sup>20</sup> ซึ่งพบว่ามีผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาดังกล่าวโดยวัสดุจะมีค่าความแข็งพื้นผิวที่ 7 วัน นั้นสูงกว่าที่ 1 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งผิวมีส่วนเกี่ยวข้องกับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัว ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการเกิดเจลชัน (gelation phase) และเกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของการเชื่อมต่อของเกลืออะลูมิเนียมในวัสดุ<sup>67</sup> แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองค่าความแข็งพื้นผิวในการศึกษาครั้งนี้ในวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่มีค่าความแข็งพื้นผิวลดลงคิดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของโคโตซานกับวัสดุส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยากันที่พื้นผิวของวัสดุอาจจะต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคตถึงปรากฏการณ์ดังกล่าว

ค่าการต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของวัสดุพบว่า มีผลทำให้วัสดุมีความแข็งแรง (strength) และมีความเหนียว (toughness) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม และ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ค่าการต้านทานแรงอัดที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมโคโคซานลงไปทำให้อัตราส่วนของผงแก้วลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อาจจะต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคตในการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของซีเมนต์ แต่อย่างไรก็ดีพบว่าค่า การต้านทานแรงดึงศูนย์กลางในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมนั้นให้ค่าที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรสถิติก (electrostatic interaction) ซึ่งทำให้สายโคโคซานสามารถนำกลุ่มไฮดรอกซี และ กลุ่มอะซิตาไมด์ ซึ่งสามารถจับกับส่วนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซีและหมู่ไฮดรอกซีของกรดพอลิอะคริลิก โดยเชื่อมต่อกับพันธะไฮโดรเจน ซึ่งก่อตัวเป็นโครงข่ายโดยโคโคซาน และทำให้เกิดพันธะร่วมกันทำให้ส่งผลต่อการปรับตัวในด้านค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางของกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม<sup>68</sup> ซึ่งส่งผลดีต่อวัสดุเพราะสามารถทำให้วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นช่วยสนับสนุนในการรับแรงบดเคี้ยวได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับค่าทางด้านกายภาพ ของ วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่มีการเติมโคโคซานมากนัก

จากผลการทดลองการปลดปล่อยฟลูออไรด์จะเห็นได้ว่าการเติมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมิน ซึ่งมีผลต่อสัดส่วน ส่วนผงต่อส่วนเหลว แต่ไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุแต่อย่างใด โดยการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการปลดปล่อยที่ Tay และ Braden<sup>69</sup> ได้กล่าวไว้ว่า จะมีการปลดปล่อยอยู่ 2 phase ด้วยกันคือ initial wash out phase เป็นลักษณะแบบ burst effect ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาสั้นประมาณ 24 ถึง 48 ชั่วโมง และช่วงที่เป็นแบบ slow release ซึ่งจากการทดลองพบว่าวัสดุทั้งสองชนิดนั้นจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงที่สุดที่ 1 วัน และจะปลดปล่อยลดลงเรื่อยๆและต่ำสุด ณ วันที่ 7 นอกจากนี้ แหล่งของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะมาจากส่วนของซีเมนต์ดังนี้คือ 1. ส่วนที่ยังคงเหลืออยู่โดยที่ยังไม่ได้ละลายออกมาจากผงซีเมนต์ 2. ผลจากขั้นตอนการเกิดซิติกาเจล จาก ปฏิกิริยา กรด-ด่าง และการปกคลุมของอนุภาคของผงซีเมนต์ 3. จากโพลีซอลแมทริกซ์ (Polysalt matrix) 4. ในรูปพูนในส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งฟลูออไรด์ไอออนจะเกาะอย่างหลวมๆ และเป็นอิสระในการเคลื่อนย้ายไปมาได้<sup>70</sup> และการศึกษาครั้งนี้จะสอดคล้องกับการศึกษาของ Petri และคณะ<sup>68</sup> ได้ศึกษาการเติมโคโคซานในส่วนเหลวของวัสดุปริมาณร้อยละ 0.0044 ซึ่งพบว่าวัสดุยังคงสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้อย่างยาวนานเช่นกัน กลุ่มของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมให้ผลการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงที่สุดคือกลุ่ม G กับ กลุ่ม GKA ซึ่งทั้งสองกลุ่มให้ผลการปลดปล่อยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่จะแตกต่างจากกลุ่ม GFA, GK และ GF ตามลำดับ

ซึ่งการปลดปล่อยที่ต่ำลงมาจากกลุ่ม GFA, GK และ GF นั้นเนื่องมาจากแหล่งฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมานั้นมาจากฟลูออไรด์ที่อยู่ในผงกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่เมื่อมีการเติมโคโคซานร้อยละ 15 และโพรตีนอัลบูมินร้อยละ 5 ลงไปทำให้อัตราส่วนผงกลาสไอโอโนเมอร์ลดลงเช่นกันซึ่งนั่นหมายถึงแหล่งฟลูออไรด์จะลดลงด้วยเช่นกันทำให้ฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาลดลง และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ออกมาอย่างยาวนานน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดการเสื่อมสลายของชั้นทดสอบได้เช่นกันซึ่งจากงานวิทยานิพนธ์ของ Narisa ค.ศ. 2007<sup>71</sup> ศึกษาการเสื่อมสลายของชั้นงานด้วยเทคนิคฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) พบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ที่เติมโคโคซานร้อยละ 20 และโพรตีนอัลบูมินร้อยละ 1.5 เกิดการเสื่อมสลาย (degradation) เมื่อแช่ในน้ำชนิดขจัดไอออนเป็นระยะเวลา 28 วัน ทำให้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาจากระบบได้เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นอีกกระบวนการหนึ่งในการควบคุมการปลดปล่อย (control released mechanism)

การปลดปล่อยอะลูมิเนียมในวัสดุทางด้านทันตกรรมนั้นจะมีการปลดปล่อยเป็นปกติอยู่แล้วและโดยทั่วไปร่างกายของมนุษย์ก็จะดูดซึมอะลูมิเนียมเข้าร่างกายในปริมาณ 3-5 มิลลิกรัมต่อวันโดยประมาณ 15 ไมโครกรัม ถูกดูดซึมจากทางเดินอาหาร<sup>72</sup> ซึ่งอะลูมิเนียมที่ดูดซึมเข้าไปนั้นมีการรายงานพบว่ามีผลต่อเซลล์ไขกระดูก<sup>73</sup> และยังพบว่าอะลูมิเนียมยับยั้งการเกิดการพอกแร่ธาตุของฟัน<sup>53</sup> แต่บางรายงานก็พบว่า อะลูมิเนียมไม่มีผลต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต<sup>74</sup> และบางรายงานก็พบว่าอะลูมิเนียมในปริมาณที่ต่ำระดับไมโครโมลาร์สามารถกระตุ้นการทำงานของเซลล์กระดูกได้เช่นกัน<sup>75</sup> ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการปลดปล่อยอะลูมิเนียมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.05 มิลลิกรัมต่อกรัมซีเมนต์ต่อวันเท่านั้น และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าการปลดปล่อยอะลูมิเนียมจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ณ วันที่ 3 และมีค่าที่น้อยมากซึ่งผู้วิจัยคิดว่าอะลูมิเนียมที่ปล่อยออกมาจะไม่เกิดผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์

การปลดปล่อยซิลิกอนในกลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมมีการปลดปล่อยซิลิกอนไม่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันโดยเฉพาะในกลุ่มของ GK พบว่ามีการลดลง ณ วันที่ 3 แต่ ณ วันที่ 5 และ 7 มีการปลดปล่อยออกมาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งยังไม่สามารถอธิบายได้ในงานวิจัยนี้อาจจะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต แต่ในกลุ่มเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังคงมีการปลดปล่อยซิลิกอนที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกันโดยจะมีการปล่อยออกมาสูงที่สุดที่วันที่ 1 และจะปล่อยออกมาต่ำเรื่อยๆจนถึงวันที่ 7 แต่อย่างไรก็ตามซิลิกอนยังคงมีบทบาทต่อการเกิดการพอกแร่ธาตุของฟัน (mineralization) เพราะฉะนั้นยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องวัดการปลดปล่อยซิลิกอนที่ออกมาจากวัสดุที่ปรับปรุงสูตรเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาของ Uppo และคณะ<sup>52</sup> โดยการเติมสารชีวภาพผสมกับเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่าช่วยเพิ่มการปลดปล่อยซิลิกอนและส่งผลชักนำให้เกิดการพอกแร่ธาตุของฟัน และการศึกษาของ Kolada และคณะ<sup>53</sup>



รายงานว่เนื้อพื้ที่อยู่ภายใต้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุ ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอน และสามารถชักนำให้เกิดการพอกแร่ธาตุของพื้ และการศึกษาของ Rakkietiwong และคณะ<sup>2</sup> พบว่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ประยุกต์ด้วยโคโคซานนั้นสามารถเพิ่ม การพอกแร่ธาตุของเซลล์ ใต้สูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจจะเป็นผลมาจากซิลิกอนใต้ เช่นกัน และการศึกษาของ Wanachotrakul และคณะ<sup>76</sup> ในวัสดุเรซินโมดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์นั้นพบว่าวัสดุกลุ่มที่มีการเติมโคโคซานและโปรตีนอัลบูมินให้ผลการพอกของแร่ธาตุไม่ แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานที่ขัดแย้งของ Ellis และคณะ<sup>77</sup> ในเรื่องของ ซิลิกอนต่อเซลล์เนื้อเยื่อในโพรงพื้มนุษย์ พบว่ซิลิกอนที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ppm เซลล์มี อัตราการเพิ่มจำนวนต่ำ และอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสแอกติวิตีต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (PEVA) ที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเติมโคโคซานร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียวหรือเติมร่วมกับโพรตีนอัลบูมิน ร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อค่าการก่อดำของวัสดุทั้งในกลุ่มโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิมและเรซินโมดิฟายด์โพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ และไม่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงพีเอชพื้นผิวในกลุ่มโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิม แต่ส่งผลทำให้มีค่าพีเอชพื้นผิวเพิ่มขึ้นในวัสดุกลุ่มเรซินโมดิฟายด์โพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์

2. การเติมโคโคซานร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียวหรือเติมร่วมกับโพรตีนอัลบูมิน ร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อความแข็งพื้นผิวในวัสดุโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิม แต่จะมีผลต่อวัสดุเรซินโมดิฟายด์โพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้วัสดุมีค่าความแข็งพื้นผิวลดลง และส่งผลทำให้ค่าการต้านทานแรงอัดมีค่าลดลงในวัสดุทั้งสองชนิด และส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางเพิ่มขึ้นในวัสดุโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิม แต่ทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลางลดลงในกลุ่มเรซินโมดิฟายด์โพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์

3. การเติมโคโคซานร้อยละ 15 เพียงอย่างเดียวหรือเติมร่วมกับโพรตีนอัลบูมิน ร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อรูปแบบการปลดปล่อย ฟลูออไรด์ อะลูมิเนียม และซิลิกอนทั้งในกลุ่มโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิม (ยกเว้นการปลดปล่อยซิลิกอนในกลุ่ม GK พบว่าไม่เป็นรูปแบบเดียวกันกับกลุ่มอื่นๆ) และเรซินโมดิฟายด์โพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ แต่การเติมโคโคซานและโพรตีนอัลบูมินส่งผลทำให้เกิด burst effect ลดลงในช่วง 24-48 ชั่วโมงเฉพาะในกลุ่มวัสดุโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดดั้งเดิม

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมโคโคซานและโพรตีนอัลบูมินร่วมกับโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อค่าทางกายภาพและค่าการต้านทานแรงอัดและค่าการต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง ผู้วิจัยคิดว่าการศึกษาดังกล่าวต่อไปในอนาคตควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเช่นการเติมวัสดุบางชนิดร่วมกับโพลีเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้วัสดุมีค่าทางกายภาพที่ดียิ่งขึ้นไป

## เอกสารอ้างอิง

1. Limapornvanich A, Jitpukdeebodintra S, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Bovine serum albumin release from novel chitosan-fluoro-aluminosilicate glass ionomer cement: Stability and cytotoxicity studies. *J Dent* 2009; 37(9): 686-690.
2. Rakkiettiwong N, Hengtrakool C, Thammasitboon K, Kedjarune-Leggat U. Effect of novel chitosan-fluoroaluminosilicate glass ionomer cement with added transforming growth factor beta-1 on pulp cells. *J Endod* 2011; 37(3): 367-371.
3. Wilson A, Kent B. The glass ionomer cement, a new translucent dental filling material. *J Appl Chem Biotechnol* 1971; 21(11): 313-316.
4. Moshaverinia A, Ansari S, Movasaghi Z, Billington RW, Darr JA, Rehman IU. Modification of conventional glass-ionomer cements with N-vinylpyrrolidone containing polyacids, nano-hydroxy and fluoroapatite to improve mechanical properties. *Dent Mater* 2008; 24(10): 1381-1390.
5. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials* 1998; 19(6): 485-494.
6. Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cement: Quintessence Publishing Company Chicago; 1988.
7. Hirano S, Seino H, Akiyama Y, Nonaka I. Biocompatibility of chitosan by oral and intravenous administration. *Polym Eng Sci* 1988; 59: 897-901.
8. Chavasit V, Kienzle-Sterzer C, Torres JA. Formation and characterization of an insoluble polyelectrolyte complex: chitosan-polyacrylic acid. *Polym Bull* 1988; 19(3): 223-230.
9. Hemant Yadav K, Satish C, Shivakumar H. Preparation and evaluation of chitosan-poly (acrylic acid) hydrogels as stomach specific delivery for amoxicillin and metronidazole. *Indian J Pharm Sci* 2007; 69(1): 91.
10. Paloma M, Torrado S, Torrado S. Interpolymer complexes of poly (acrylic acid) and chitosan: influence of the ionic hydrogel-forming medium. *Biomaterials* 2003; 24: 1459-1468.
11. Ahn J-S, Choi H-K, Chun M-K, Ryu J-M, Jung J-H, Kim Y-U, et al. Release of triamcinolone acetonide from mucoadhesive polymer composed of chitosan and poly (acrylic acid) *in vitro*. *Biomaterials* 2002; 23(6): 1411-1416.

12. Sabnis S, Block LH. Chitosan as an enabling excipient for drug delivery systems: I. Molecular modifications. *Int J Biol Macromol* 2000; 27(3): 181-186.
13. Shahidi F, Arachchi JKV, Jeon Y-J. Food applications of chitin and chitosans. *Trends Food Sci Technol* 1999; 10(2): 37-51.
14. Maezaki Y, Tsuji K, Nakagawa Y, Kawai Y, Akimoto M, Tsugita T, et al. Hypocholesterolemic effect of chitosan in adult males. *Biosci Biotechnol Biochem* 1993; 57(9): 1439-1444.
15. Lucas ME, Arita K, Nishino M. Toughness, bonding and fluoride-release properties of hydroxyapatite-added glass ionomer cement. *Biomaterials* 2003; 24(21): 3787-3794.
16. Gu Y, Yap A, Cheang P, Khor K. Effects of incorporation of HA/ZrO<sub>2</sub> into glass ionomer cement (GIC). *Biomaterials* 2005; 26(7): 713-720.
17. พีรพงศ์ ฤประดิษฐ์. เรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในงานทันตกรรมหัตถการ. *วทันต* 2546; 6(2): 109-121.
18. Al Zraikat H, Palamara JE, Messer HH, Burrow MF, Reynolds EC. The incorporation of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate into a glass ionomer cement. *Dent Mater* 2011; 27(3): 235-243.
19. Shintome LK, Nagayassu MP, Di Nicolo R, Myaki SI. Microhardness of glass ionomer cements indicated for the ART technique according to surface protection treatment and storage time. *Braz Oral Res* 2009; 23(4): 439-445.
20. Kanchanasavita W, Anstice H, Pearson G. Long-term surface micro-hardness of resin-modified glass ionomers. *J Dent* 1998; 26(8): 707-712.
21. O'Brien WJ. Dental materials and their selection: Quintessence publishing Chicago; 1997.
22. Bourke A, Walls A, McCabe J. Light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cements: the setting reaction. *J Dent* 1992; 20(2): 115-120.
23. Yap A, Lee C. Water sorption and solubility of resinmodified polyalkenoate cements. *J Oral Rehabil* 1997; 24(4): 310-314.
24. Mount G. Glass ionomer cements and future research. *Am J Dent* 1994; 7(5): 286.
25. Nicholls J. Crown retention. I. Stress analysis of symmetric restorations. *J Prosthet Dent* 1974; 31(2): 179.
26. Yettram A, Wright K, Pickard H. Finite element stress analysis of the crowns of normal and restored teeth. *J Dent Res* 1976; 55(6): 1004-1011.

27. Craig R, Farah J. Stress analysis and design of single restorations and fixed bridges. *Oral Sci Rev* 1977; 10: 45.
28. Triolo P, Wefel J, Jensen M. Fluoride-releasing core build-up materials and artificial caries. *Am J Dent* 1991; 4(5): 207.
29. Cohen BI, Condos S, Deutsch AS, Musikant BL. Comparison of the shear bond strength of a titanium composite resin material with dentinal bonding agents versus glass ionomer cements. *J Prosthet Dent* 1992; 68(6): 904-909.
30. Levartovsky S, Goldstein GR, Georgescu M. Shear bond strength of several new core materials. *J Prosthet Dent* 1996; 75(2): 154-158.
31. Cefaly DFG, Franco EB, Mondelli RFL, Francisconi PAS, Navarro MFdL. Diametral tensile strength and water sorption of glass-ionomer cements used in Atraumatic Restorative Treatment. *J Appl Oral Sci* 2003; 11(2): 96-101.
32. Ahluwalia P, Chopra S, Thomas A. Strength characteristics and marginal sealing ability of chlorhexidine-modified glass ionomer cement: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2012; 30(1): 41.
33. Cooper I. The response of the human dental pulp to glass ionomer cements. *Int Endod J* 1980; 13(2): 76-88.
34. Plant C, Knibbs P, Tobias R, Britton A, Rippin J. Pulpal response to a glass-ionomer luting cement. *Br Dent J* 1988; 165(2): 54-58.
35. Kawahara H, Imanishi Y, Oshima H. Biological evaluation on glass ionomer cement. *J Dent Res* 1979; 58(3): 1080-1086.
36. Meryon S, Stephens P, Browne R. A comparison of the in vitro cytotoxicity of two glass-ionomer cements. *J Dent Res* 1983; 62(6): 769-773.
37. Hume W, Mount G. In vitro studies on the potential for pulpal cytotoxicity of glass-ionomer cements. *J Dent Res* 1988; 67(6): 915-918.
38. Watts A, Paterson R. Pulpal response to a zinc oxide–eugenol cement. *Int Endod J* 1987; 20(2): 82-86.
39. Stanley H. Pulpal responses to ionomer cements biological characteristics. *J Am Dent Assoc* 1990; 120(1): 25-29.
40. Smith D, Ruse N. Acidity of glass ionomer cements during setting and its relation to pulp sensitivity. *J Am Dent Assoc* 1986; 112(5): 654-657.

41. Tobias R, Plant C, Rippin J, Browne R. Pulpal response to an anhydrous glass ionomer luting cement. *Dent Traumatol* 1989; 5(5): 242-252.
42. Czarnecka B, Nicholson JW. Ion release by resin-modified glass-ionomer cements into water and lactic acid solutions. *J Dent* 2006; 34(8): 539-543.
43. Goldberg M. In vitro and in vivo studies on the toxicity of dental resin components: a review. *Clin Oral Investig* 2008; 12(1): 1-8.
44. Nicholson JW, Braybrook JH, Wasson EA. The biocompatibility of glass-poly (alkenoate)(Glass-Ionomer) cements: A review. *J Biomater Sci Polym Ed* 1991; 2(4): 277-285.
45. Brookman P, Prosser H, Wilson A. A sensitive conductimetric method for measuring the material initially water leached from dental cements 4. Glass-ionomer cements. *J Dent* 1986; 14(2): 74-79.
46. Guida A, Hill R, Towler M, Eramo S. Fluoride release from model glass ionomer cements. *J Mater Sci : Mater Med* 2002; 13(7): 645-649.
47. Nakajo K, Imazato S, Takahashi Y, Kiba W, Ebisu S, Takahashi N. Fluoride released from glass-ionomer cement is responsible to inhibit the acid production of caries-related oral streptococci. *Dent Mater* 2009; 25(6): 703-708.
48. Bapna M, Mueller H. Leaching from glass ionomer cements. *J Oral Rehabil* 1994; 21(5): 577-583.
49. Volker JF, Hodge HC, Wilson HJ, Van Voorhis SN. The adsorption of fluorides by enamel, dentin, bone, and hydroxyapatite as shown by the radioactive isotope. *J Biol Chem* 1940; 134: 543-548.
50. Okte Z, Bayrak S, Fidanci UR, Sel T. Fluoride and aluminum release from restorative materials using ion chromatography. *J Appl Oral Sci* 2012; 20(1): 27-31.
51. Andersson OH, Dahl JE. Aluminium release from glass ionomer cements during early water exposure *in vitro*. *Biomaterials* 1994; 15(11): 882-888.
52. Yli-Urpo H, Vallittu PK, Narhi TO, Forsback A-P, Vakiparta M. Release of silica, calcium, phosphorus, and fluoride from glass ionomer cement containing bioactive glass. *J Biomater Appl* 2004; 19(1): 5-20.

53. Marczuk-Kolada G, Waszkiel D, Luczaj-Cepowicz E, Kierklo A, Pawinska M, Mystkowska J. The effect of glass ionomer cement Fuji IX on the hard tissues of teeth treated by sparing methods (ART and CMCR). *Adv Med Sci* 2006; 51(suppl 1): 138-141.
54. AC C. The usefulness of strontium as an adjuvant to calcium in the remineralization of the skeleton in man. *Bull Hosp Joint Dis* 1952; 13(1): 59.
55. Dabsie F, Gregoire G, Sixou M, Sharrock P. Does strontium play a role in the cariostatic activity of glass ionomer?: Strontium diffusion and antibacterial activity. *J Dent* 2009; 37(7): 554-559.
56. Oliva A, Della Ragione F, Salerno A, Riccio V, Tartaro G, Cozzolino A, et al. Biocompatibility studies on glass ionomer cements by primary cultures of human osteoblasts. *Biomaterials* 1996; 17(13): 1351-1356.
57. de Souza Costa CA, Hebling J, Garcia-Godoy F, Hanks CT. In vitro cytotoxicity of five glass-ionomer cements. *Biomaterials* 2003; 24(21): 3853-3858.
58. Souza PP, Aranha AM, Hebling J, Giro E, Costa CA. In vitro cytotoxicity and in vivo biocompatibility of contemporary resin-modified glass-ionomer cements. *Dent Mater* 2006; 22(9): 838-844.
59. Rogalewicz R, Voelkel A, Kownacki I. Application of HS-SPME in the determination of potentially toxic organic compounds emitted from resin-based dental materials. *J Environ Monit* 2006; 8(3): 377-383.
60. Featherstone J, Shields C, Khademazad B, Oldershaw M. Acid reactivity of carbonated apatites with strontium and fluoride substitutions. *J Dent Res* 1983; 62(10): 1049-1053.
61. Bigi A, Boanini E, Capuccini C, Gazzano M. Strontium-substituted hydroxyapatite nanocrystals. *Inorg Chim Acta* 2007; 360(3): 1009-1016.
62. Hurrell-Gillingham K, Reaney I, Brook I, Hatton P. In vitro biocompatibility of a novel Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based glass ionomer cement. *J Dent* 2006; 34(8): 533-538.
63. Wasson E, Nicholson J. Change in pH during setting of polyelectrolyte dental cements. *J Dent* 1993; 21(2): 122-126.
64. Tyler J, Poole D. The rapid measurement of fluoride concentrations in stored human saliva by means of a differential electrode cell. *Arch Oral Biol* 1989; 34(12): 995-998.
65. Lehr, C.-M., J. A. Bouwstra, Schacht EH, Junginger HE. In vitro evaluation of mucoadhesive properties of chitosan and some other natural polymers. *Int J Pharm* 1992; 78(1): 43-48.

66. Kent, B. E. and A. D. Wilson. Dental silicate cements: VIII. Acid-base aspect. *J Dent Res* 1969; 48(3): 412-418.
67. Mount GJ. An atlas of glass-ionomer cements: a clinician's guide. 2<sup>nd</sup> ed. Martin Dunitz Ltd: London; 1994. p.1.
68. Petri, D. F., J. Donegá, Benassi A. M., Bocangel J. A. Preliminary study on chitosan modified glass ionomer restoratives. *Dent mater* 2007; 23(8): 1004-1010.
69. Tay WM, Braden M. Fluoride ion diffusion from polyalkeoate (glass-ionomer ) cement. *Biomaterials* 1988; 9(5): 454-456.
70. Verbeeck RM, EA De Maeyer, Marks LA, RJ De Moor, A De Witte, Trimpeneers LM. Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus (polyacid-modified) composite resins. *Biomaterials* 1998; 19(6): 509-519.
71. Narisa S. Fluoride and protein releasing from chitosan-modified glass-ionomer cement. [dissertation]. Songkhla: Prince of Songkhla Univesity, Dental Branch at Hatyai; 2007
72. Aluminium [ฐานข้อมูลเปิดบนอินเทอร์เน็ต]. พญ.สิทธิธีรารักษ์ ชโรเตอร์ [31 พฤษภาคม 2555]. เข้าถึงจาก: [http://www.summacheeva.org/index\\_thaitox\\_aluminium.htm](http://www.summacheeva.org/index_thaitox_aluminium.htm)
73. Devlin AJ, Hatton PV, Brook IM. Dependence of in vitro biocompatibility of ionomeric cements on ion release. *J Mater Sci : Mater Med* 1998; 9(12):737-741.
74. Kawahara H, Imanishi Y, Oshima H. Biological Evaluation on Glass Ionomer Cement; 1979. p. 1080-1086.
75. Lau KH, Yoo A, Wang SP. Aluminum stimulates the proliferation and differentiation of osteoblasts in vitro by a mechanism that is different from fluoride. *Mol Cell Biochem* 1991; 105(2): 93-105.
76. Wanachottrakul, N, Chotigeat W, Kedjarune-Leggat U. Effect of novel chitosan-fluoroaluminosilicate resin modified glass ionomer cement supplemented with translationally controlled tumor protein on pulp cells. *J Mater Sci : Mater Med* 2014; 25:1077-1085.
77. Ellis G, Hutter J, Abeijon C, Chou L. Effects of silicon on human dental pulp tissue.2003. Available from: <http://www.iadr.confex.com/iadr/2003SanAnton/techprogram/abstract>.
78. สุวบุญ จิรชาณูชัย, รังรอง ยกसान, โกสุม สมัครรัตน์. สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคติน-ไคโตซาน. Paper presentation at: การประชุมวิชาการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้, 2544; จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ มหานคร.



ภาคผนวก

## ภาคผนวก

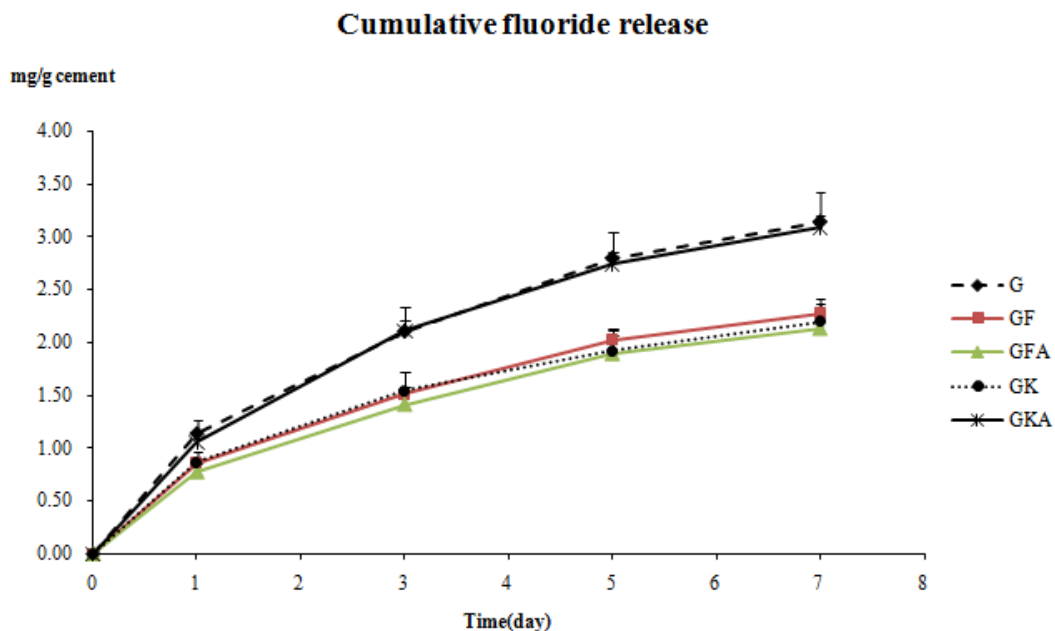
ตารางที่ 18 แสดงรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุสารเคมี	รายละเอียด
1. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดตั้งเดิม	GIC lining cement ยี่ห้อ GC corporation โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น
2. เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	RMGIC liner/base cement ยี่ห้อ vitrebond 3M St Paul ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. โคลิตซานขนาดน้ำหนักโมเลกุล 62 kDa	Shrimp oligomer chitosan 88% deacetylation บริษัทต้าหมิงเอ็นเตอร์ไพร์สจำกัด ประเทศไทย
4. โคลิตซานน้ำหนักโมเลกุล 545 kDa	ยี่ห้อ Fluka, 80% deacetylation Steinhein ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
5. โปรตีนอัลบูมิน (bovine serum albumin)	ยี่ห้อ Sigma น้ำหนักโมเลกุล 66 kDa pH 5.0-5.6 96% electrophoresis St Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. 100 ppm fluoride standard	ยี่ห้อ Orion Cambridge สหรัฐอเมริกา
7. เครื่องวัดค่าการก่อดัว	ยี่ห้อ Matest บริษัท Matest slr Via delle Industrie ประเทศอิตาลี
8. เครื่องวัดค่าพีเอช	ยี่ห้อ Mettler-Toledo Schwerzenbach ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
9. เครื่องวัดค่าความแข็งผิว	ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น HM-211 บริษัท Mitutoyo Corporation, Kanagawa ประเทศญี่ปุ่น
10. เครื่องวัดค่าการต้านทานแรงอัดและ วัดค่าต้านทานแรงดึงศูนย์กลาง	ยี่ห้อ Lloyd instruments รุ่น LRX-Plus บริษัท AMETEK Lloyd Instrument, Hampshire ประเทศสหรัฐอเมริกา

## ตารางที่ 18 ต่อ

วัสดุสารเคมี	รายละเอียด
11. เครื่องมือวัดค่าฟลูออไรด์	ยี่ห้อ Orion รุ่น Expandable ion Analyzer EA 940 Cambridge ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. เครื่องมือวัดค่าอะลูมิเนียมและซิลิกอน	รุ่น Optima 4300 DV บริษัท Perkin Elmer Instrument ประเทศ สหรัฐอเมริกา
13. เครื่องปั่นอะมัลกัม	ยี่ห้อ MikRo 22R ประเทศเยอรมัน
14. เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง	ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MC 210s Goettingen ประเทศเยอรมัน
15. เครื่องฉายแสง	ยี่ห้อ Elipar <sup>TM</sup> Free light 2 Seefeld ประเทศเยอรมัน
16. Digital caliper	ยี่ห้อ Mitutoyo บริษัท Mitutoyo Corporation Kawasaki ประเทศญี่ปุ่น
17. หม้อนึ่งอัดไอน้ำ(Autoclave)	รุ่น SS-325 บริษัท Tomy ประเทศญี่ปุ่น
18. ตู้อบ (incubator)	ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมัน
19. ตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส	รุ่น J-elegance บริษัท Mitsubishi ประเทศญี่ปุ่น
20. เครื่องเขย่า	บริษัท Gallenkamp โดเกียว ประเทศญี่ปุ่น

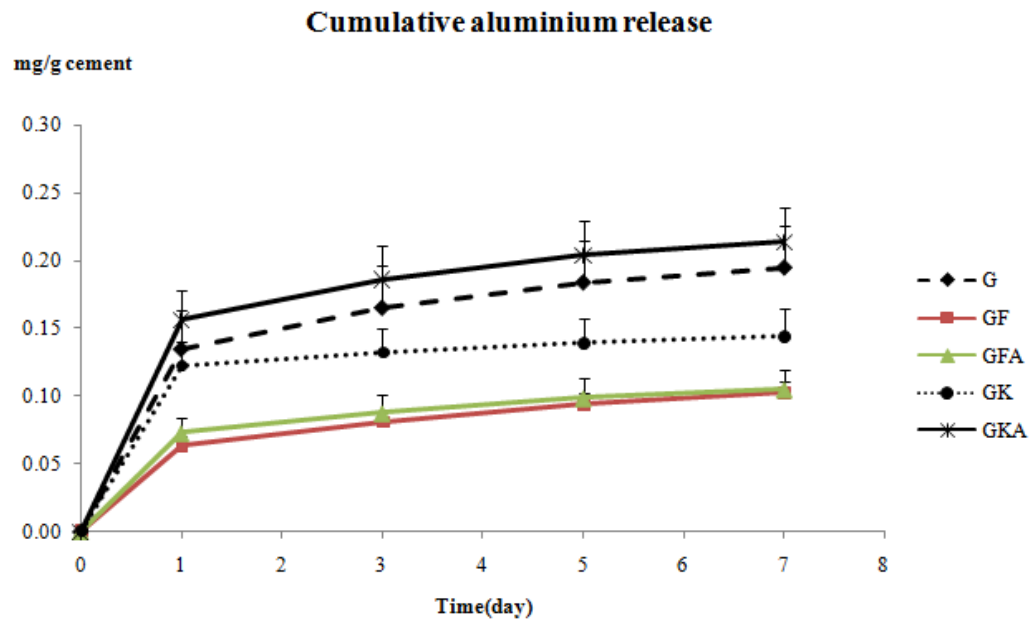
ผลการทดลองปริมาณแร่ธาตุต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสม และตารางวิเคราะห์ทางสถิติ



รูปที่ 17 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (mean  $\pm$  sd, n = 5)

ตารางที่ 19 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมวัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเซฟ

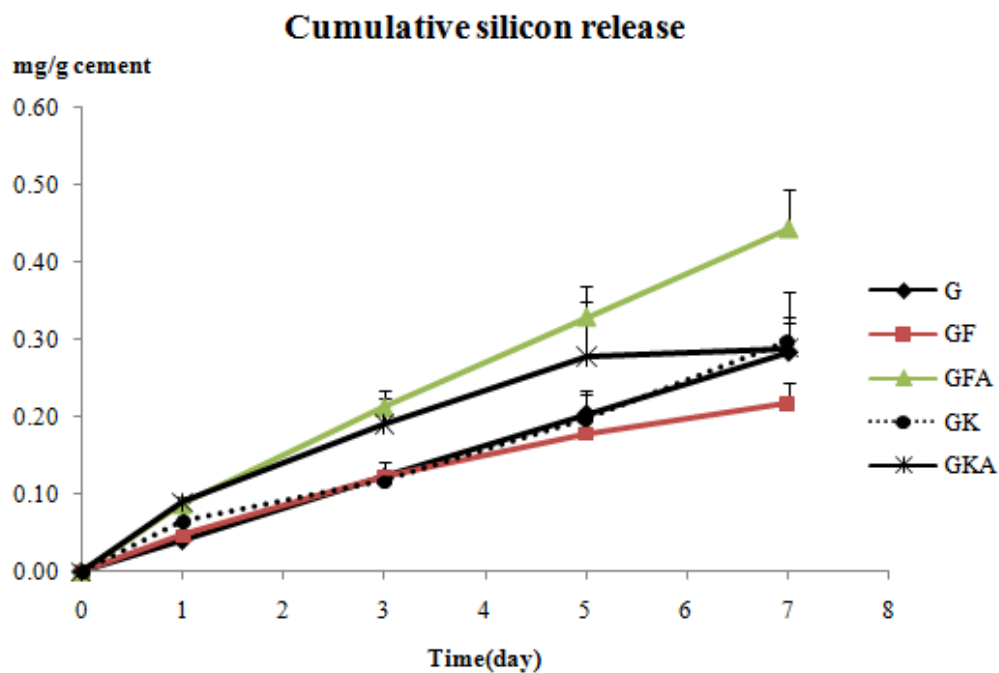
กลุ่ม	ปริมาณฟลูออไรด์เฉลี่ย (mg/g cement)	
	subset 1	subset 2
GFA	1.554	
GK	1.632	
GF	1.666	
GKA		2.248
G		2.298
<i>p</i> -value	.838	.990



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (mean  $\pm$  sd, n = 5)

ตารางที่ 20 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมวัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเชฟ

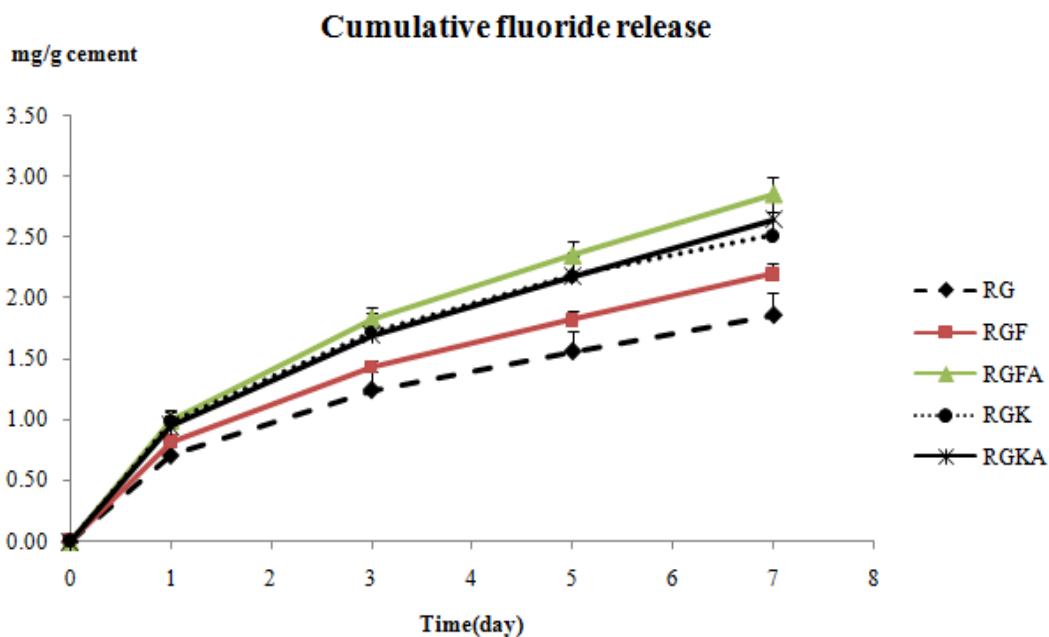
กลุ่ม	ปริมาณอะลูมิเนียมเฉลี่ย (mg/g cement)			
	subset 1	subset 2	subset 3	subset 4
GF	0.084			
GFA	0.091	0.091		
GK		0.134	0.134	
G			0.167	0.167
GKA				0.190
<i>p</i> -value	.990	.095	.214	.575



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบผสมจากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม

ตารางที่ 21 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักวัสดุแบบผสมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมวัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเชฟ

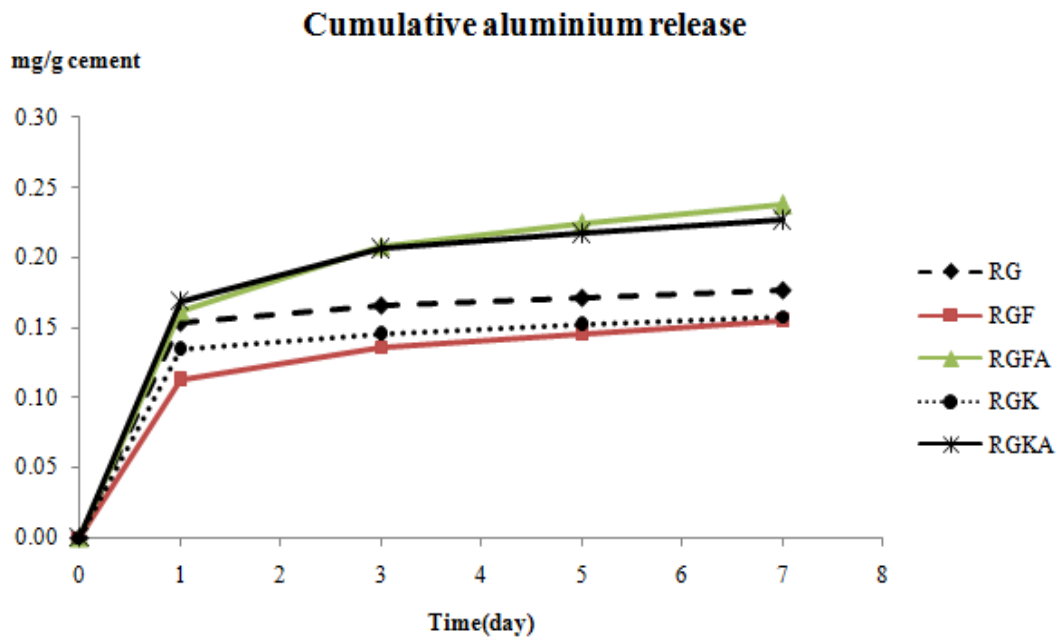
กลุ่ม	ปริมาณซิลิกอนเฉลี่ย (mg/g cement)		
	subset 1	subset 2	subset 3
GF	0.141		
G	0.162	0.162	
GK	0.169	0.169	
GKA		0.211	0.211
GFA			0.267
<i>p</i> -value	.656	.152	.082



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ตารางที่ 22 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฟลูออไรด์ต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสมของ วัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์วัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเซฟ

กลุ่ม	ปริมาณฟลูออไรด์เฉลี่ย (mg/g cement)	
	subset 1	subset 2
RG	1.343	
RGF	1.565	
RGK		1.852
RGKA		1.872
RGFA		2.011
<i>p</i> -value	.147	.439

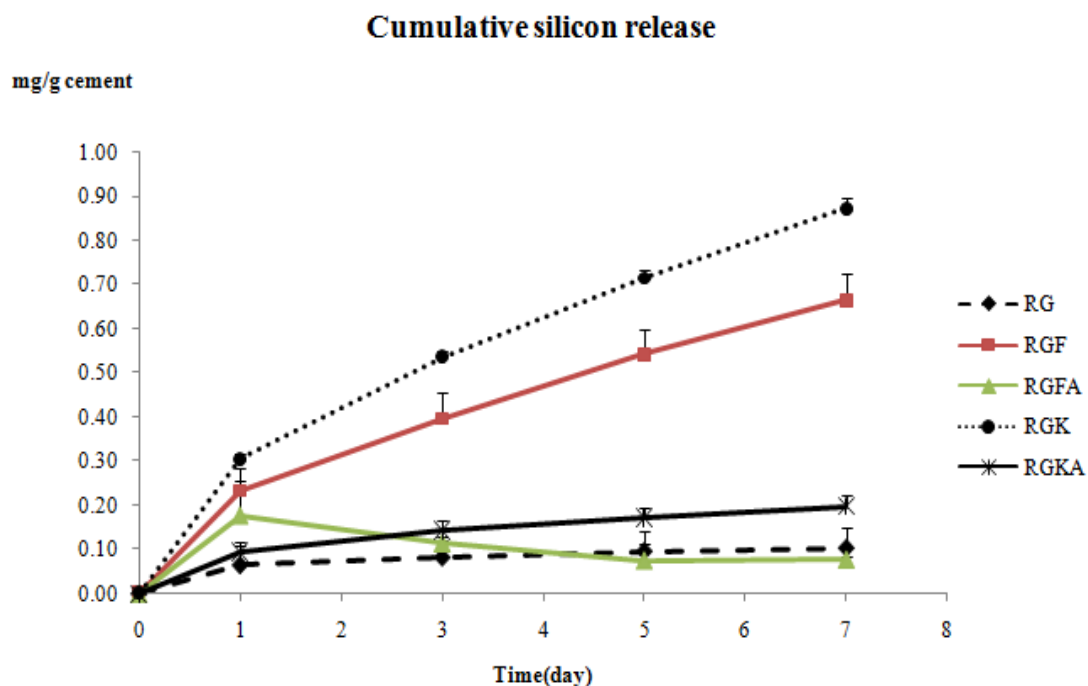


รูปที่ 21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุเรซิน โหมดไฟต์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ตารางที่ 23 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณอะลูมิเนียมต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสมของ วัสดุเรซิน โหมดไฟต์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์วัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเซฟ

กลุ่ม	ปริมาณอะลูมิเนียมเฉลี่ย (mg/g cement)	
	subset 1	subset 2
RGF	0.136	
RGK	0.148	
RG	0.167	0.167
RGKA		0.205
RGFA		0.209
<i>p</i> -value	.250	.075





รูปที่ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักชิ้นงานแบบสะสมจากวัสดุเรซินโมดิฟายด์  
 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ตารางที่ 24 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณซิลิกอนต่อน้ำหนักวัสดุแบบสะสมของ  
 วัสดุเรซิน โมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์วัดด้วยสถิติวิเคราะห์ชนิดพหุแบบเซฟ

กลุ่ม	ปริมาณซิลิกอนเฉลี่ย (mg/g cement)		
	subset 1	subset 2	subset 3
RG	0.086		
RGKA	0.152		
RGFA		0.453	
RGF		0.459	
RGK			0.608
<i>p</i> -value	.336	1.000	1.000