



ผลของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ
และทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม

EFFECT OF ALUMINIUM OXIDE AND SILICON DIOXIDE ON PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF DENTAL CEMENT

ณัฐสารภรณ์ นาคพิน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

ผลของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ต่อคุณสมบัติทาง
กายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF ALUMINIUM OXIDE AND SILICON DIOXIDE ON PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF DENTAL CEMENT



NATTHAPORN NAKPIN

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF SCIENCE (Master of Science (Advanced General Dentistry))

Faculty of Dentistry Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารประกอบออลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ
และทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม

ของ

ณัฐสุภรณ์ นาคพิน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนารถ เอกวรรณ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทนายวรรณ นวเลิศ
ปัญญา)

ที่ปรึกษาร่วม

กรรมการ

(ดร.เอกวิทย์ มีชูชาติ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรพินธ์ อัจฉรานุกุล)

ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.กนิษฐ์ ตะปะสา)

ชื่อเรื่อง	ผลของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์
	ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม
ผู้วิจัย	ณัฐฐาภรณ์ นาคพิน
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนารถ เอกวรพจน์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ซึ่งเป็นซีเมนต์ทางทันตกรรมชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมแพร่หลายในทางคลินิก โดยเป็นการสังเคราะห์ส่วนผสมของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 4 ชนิดที่มีอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ แตกต่างกันไป 0.78, 0.69, 0.59 และ 0.52 ตามลำดับ จากนั้นนำส่วนผสมของซีเมนต์ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับส่วนน้ำของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (Fujilix, GC Corp., Japan) ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลตามหลักการทดสอบคุณสมบัติสากล (ISO 9917-1) ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ ค่าความแข็งแรงกดอัด ค่าการละลายตัวในกรด ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ คุณสมบัติทางแสง และการประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน วิเคราะห์ผลของซีเมนต์ทุกกลุ่มและซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมพบว่าซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด มีค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่แตกต่างกัน โดยซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนระหว่างสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์เป็น 0.69 มีคุณสมบัติตามที่ ISO กำหนด แต่พบว่าค่าปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์และสีของซีเมนต์นั้นมีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม

คำสำคัญ : กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์

Title	EFFECT OF ALUMINIUM OXIDE AND SILICON DIOXIDE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DENTAL CEMENT
Author	NATTHAPORN NAKPIN
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Piyanart Ekworapoj

This research studied the modified ratio between aluminum oxide and silicon dioxide (Al: Si, Al_2O_3 : SiO_2), which are the main components in the powder of glass ionomer cement (GIC). This GIC powder had with various ratios, fabricated and assigned into four groups (G1-G4) according to Al: Si ratio of 0.78, 0.69, 0.59 and 0.52, respectively. Commercial GIC (Fuji IX, GC corp., Japan) was used as control group (G0). The physical and mechanical properties of all groups was determined following ISO 9917-1 for water based dental cement. In addition, the microstructure of set cements were investigated using SEM microscopy. The overall physical and mechanical properties of G2 meet the ISO requirements while the others showed an underestimation of in certain items. The data analysis revealed a direct variation between Al:Si ratio towards physical and mechanical properties. However, all experimental GIC powder as set cement released less fluoride compared to the commercial one. The color of synthesized GIC was lighter, clearer and whiter than the commercial version. This is acceptable for clinical use when adjusted with a color pigment.

Keyword : Glass ionomer cement Aluminium oxide Silicon dioxide

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนารถ เอกวรพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ดร.เอกรัฐ มีชูวาศ และ ดร.กนิษฐ์ ตะปะสา ที่ปรึกษาร่วมจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุนวิจัย และให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย และนางสาว สุริษา สุริโยพร ผู้ช่วยนักวิจัยประจำกองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี การสนับสนุนสถานที่ปฏิบัติการวัดปริมาณฟลูออไรด์ จากภาควิชาโงษฐวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอขอบพระคุณนางสาวพัชรณัฐ ศรีพอ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ ประจำภาควิชาฯ ขอขอบพระคุณ นายอนุชาติ ศรีจันบาล เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอำนวยความสะดวกในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุซีเมนต์

ณัฐฐาภรณ์ นาคพิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 ความสำคัญของการวิจัย.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.4 กรอบแนวคิดและขอบเขตงานวิจัย.....	5
1.5 สมมติฐานการวิจัย.....	6
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ซีเมนต์ทางทันตกรรม.....	7
2.2 ชนิดของซีเมนต์ทางทันตกรรม (Classification of dental cements).....	7
2.2.1 องค์ประกอบหลักทางเคมี (Chief chemical ingredients).....	7
2.2.2 ความยืนยาวของการบูรณะ (Longevity of restoration).....	8
2.2.3 รูปแบบการใช้งานทางคลินิก (Clinical application).....	8
2.3 กلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement).....	9
2.3.1 ส่วนประกอบของกلاسไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Composition).....	10

2.3.2 ปฏิกริยาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Setting reaction).....	15
2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)	17
2.3.4 คุณสมบัติทางด้านการปลดปล่อยแร่ธาตุ (Ion-releasing property)	21
2.3.4.1 การปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)	21
2.3.4.2 การปลดปล่อยอลูมิเนียม (Aluminum release).....	22
2.3.4.3 การปลดปล่อยซิลิกา (silicon release)	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 การเตรียมส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรมในห้องปฏิบัติการ (Fabrication)	23
3.2 การบดผงแก้ว.....	25
3.3 การหาอัตราส่วนระหว่างส่วนผงที่เตรียมได้กับส่วนเหลวของซีเมนต์ทางทันตกรรม	25
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม.....	25
3.4.1 การประเมินระยะก่อตัวของซีเมนต์ (Setting time).....	25
3.4.2 การประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว	27
3.4.3 การประเมินความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength).....	27
3.4.4 การประเมินคุณสมบัติการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ (Acid erosion)	29
3.4.5 การประเมินคุณสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)	30
3.4.6 การประเมินคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ (Opacity).....	31
5. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
บทที่ 4	33
ผลการดำเนินงานวิจัย	33
4.1 อัตราส่วนระหว่างส่วนผงของซีเมนต์ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและส่วนน้ำของซีเมนต์ใน กลุ่มวัสดุอุดฟัน (Filling).....	33
4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม.....	33

4.2.1 ระยะก่อตัวของซีเมนต์ (setting time)	33
4.2.2 การประเมินความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength).....	35
4.2.3 การประเมินคุณสมบัติการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ (Acid erosion)	36
4.2.4 การประเมินคุณสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)	37
4.2.5 การประเมินคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ (Optical properties).....	43
4.2.6 การประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว	48
บทที่ 5.....	51
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการวิจัย	51
5.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์	51
5.1.2 ค่าความแข็งแรงกดอัด	52
5.1.3 ค่าการละลายตัวในกรด.....	53
5.1.4 การปลดปล่อยฟลูออไรด์	53
5.1.5 คุณสมบัติทางแสง	54
5.2 อภิปรายผล	55
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	2
ภาคผนวก.....	7
ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว	8
ประวัติผู้เขียน.....	14

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 องค์ประกอบของผงแก้วในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด G200 (ASPA-I)	13
ตาราง 2 คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์สำหรับการใช้งานทางคลินิกตามมาตรฐาน ISO 9917	19
ตาราง 3 คุณสมบัติทางกายภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า (Fuji IX,GC Corp., Japan).....	20
ตาราง 4 สารประกอบที่ใช้ในการเตรียมส่วนของซีเมนต์	23
ตาราง 5 อัตราส่วนสารประกอบของส่วนของซีเมนต์ 4 ชนิด (A-D)	24
ตาราง 6 องค์ประกอบของผงซีเมนต์ภายหลังการเตรียมโดยวิธีการหลอมแก้ว	24
ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	34
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงกดอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	35
ตาราง 9 ค่าการละลายตัวของซีเมนต์แต่ละกลุ่มในกรดแลคติกที่เวลา 24 ชั่วโมง	36
ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่ม ที่เวลา 6 ชั่วโมง	37
ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง	38
ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 48 ชั่วโมง	39
ตาราง 13 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 72 ชั่วโมง	40
ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 7 วัน	41
ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลาต่างๆ	42
ตาราง 16 ค่าเฉลี่ยความสว่างของซีเมนต์ (*L) แต่ละชนิด	43
ตาราง 17 ค่าเฉลี่ยของแกนสีเขียวถึงสีแดง (*a) ในซีเมนต์ แต่ละกลุ่ม	45
ตาราง 18 ค่าเฉลี่ยของแกนสีน้ำเงินถึงสีเหลือง (*b) ในซีเมนต์ แต่ละกลุ่ม	46
ตาราง 19 ค่าเฉลี่ยค่าความสามารถในการผ่านของแสงในซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	47

ตาราง 20 องค์ประกอบภายในส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม	8
ตาราง 21 สรุปค่าความหนาแน่นของซีเมนต์ก่อนและหลังผสม	10
ตาราง 22 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์	11
ตาราง 23 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์	11
ตาราง 24 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และค่าการละลายตัวในกรดของซีเมนต์	12
ตาราง 25 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์	12
ตาราง 26 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์และการละลายตัวในกรด..	13
ตาราง 27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับความสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	13

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของแก้วซิลิเกต (Silicate structure).....	12
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของแก้วอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate structure)	13
ภาพประกอบ 3 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า (Fuji IX,GC Corp., Japan).....	15
ภาพประกอบ 4 ปฏิริยาทางเคมีของการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 4 ระยะ.....	17
ภาพประกอบ 5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขณะทำการทดสอบระยะเวลาก่อตัว	26
ภาพประกอบ 6 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบระยะเวลาก่อตัว	26
ภาพประกอบ 7 ลักษณะการใช้อุปกรณ์ขณะทำการทดสอบระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์	26
ภาพประกอบ 8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	27
ภาพประกอบ 9 แม่พิมพ์โลหะที่ใช้เตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกดอัด	28
ภาพประกอบ 10 ชิ้นซีเมนต์ทดสอบความแข็งแรงกดอัดที่ได้จากการเตรียมในแม่พิมพ์โลหะ	28
ภาพประกอบ 11 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด	28
ภาพประกอบ 12 แผ่นพลาสติกเจาะรูเพื่อใส่ซีเมนต์ทดสอบค่าการละลายตัวในกรด.....	29
ภาพประกอบ 13 อุปกรณ์วัดปริมาณฟลูออไรด์.....	30
ภาพประกอบ 14 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์.....	31
ภาพประกอบ 15 เครื่องวัดแสงสี.....	31
ภาพประกอบ 16 ลักษณะซีเมนต์ภายหลังการผสม	33
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม.....	34
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงกดอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม	35
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงค่าการละลายตัวในกรดแลคติกของซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม.....	36
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	37
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	38

ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 48 ชั่วโมง	39
ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 72 ชั่วโมง	40
ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 7 วัน	41
ภาพประกอบ 25 ปริมาณฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 7 วันของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	42
ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงค่าความสว่างของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	44
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงค่าแกนสีจากสีเขียวถึงสีแดงของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	45
ภาพประกอบ 28 ค่าแกนสีจากสีน้ำเงินจนถึงสีเหลืองของซีเมนต์ทุกกลุ่ม	46
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสามารถในการผ่านของแสงในซีเมนต์แต่ละกลุ่ม	47
ภาพประกอบ 30 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_1 ภายหลังการก่อตัว	48
ภาพประกอบ 31 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_2 ภายหลังการก่อตัว	48
ภาพประกอบ 32 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_3 ภายหลังการก่อตัว	49
ภาพประกอบ 33 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_4 ภายหลังการก่อตัว	49
ภาพประกอบ 34 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) ภายหลังการก่อตัว	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ปัจจุบันซีเมนต์ทางทันตกรรม (Dental cement) เป็นวัสดุบูรณะฟัน (Restorative materials) ที่มีการใช้งานทางคลินิก (Clinical application) ที่หลากหลาย ได้แก่ วัสดุรองพื้นโพรงฟัน (Lining material) หลังการกรอแต่งฟันสำหรับการอุดฟัน หรือใช้เป็นวัสดุฐาน (Base material) สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุอุดชั่วคราว (Temporary filling material) และวัสดุอุดฟันถาวร (Permanent filling) นอกจากนี้ ซีเมนต์ทางทันตกรรมยังถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมประดิษฐ์ เพื่อการยึดติดชิ้นงานครอบฟัน สะพานฟัน กับเนื้อฟัน (Luting purpose)

ซีเมนต์ทางทันตกรรมมีคุณลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ตัวอย่างเช่น เมื่อนำมาใช้งานเป็นวัสดุอุดฟันทั้งชั่วคราวหรือถาวร คุณลักษณะซีเมนต์ควรมีลักษณะที่เป็นแป้นได้ (Dough appearance) ที่สามารถกดอัดลงโพรงฟันได้ (Pliable mass) สำหรับคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ที่ใช้ในการประเมินความสามารถของซีเมนต์ที่ทนทานต่อแรงบิดเคี้ยว หรือแรงขัดสี ได้แก่ ค่าความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และค่าความทนทานต่อการสึกกร่อน (Wear resistance) และค่าความแข็งผิวของวัสดุ (Surface hardness) นอกจากนี้ยังต้องการให้วัสดุมีการละลายตัวต่ำในสภาวะกรด เนื่องจากต้องสัมผัสกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างภายในช่องปาก ด้านทานการดูดความชื้นมีเสถียรภาพของสี (color stability) ตัวอย่างกลุ่มซีเมนต์ที่ถูกนำมาใช้งาน ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement) ซิงค์โพลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (Zinc polycarboxylate cement) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin-modified glass ionomer cement) และเรซินซีเมนต์ (Resin cement)

สำหรับการนำซีเมนต์มาใช้ในการยึดติดชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์ (Luting cement) มีคุณลักษณะที่ต้องการ กล่าวคือ เนื้อซีเมนต์ควรมีลักษณะเหลว ไหลแผ่ ฉาบเคลือบบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยมีความหนาของเนื้อวัสดุ ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความแนบสนิทของชิ้นงานบูรณะฟัน หรือชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์กับเนื้อฟัน คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับกลุ่มซีเมนต์ชนิดนี้ กล่าวคือ เนื้อซีเมนต์ต้องสามารถทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบางเพียงพอ มีการยึดติดทางเคมีกับโครงสร้างฟันและชิ้นงานบูรณะ เพื่อให้เกิดการผนึกบริเวณขอบ (marginal seal) ของชิ้นงานที่ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับเนื้อเยื่อฟัน มีความทึบรังสี (Radiopacity)

ตัวอย่างซีเมนต์ที่นำมาใช้ ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement) ซิงค์พอลิคาร์บอเนตซีเมนต์ (Zinc polycarboxylate cement) เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin modified glass ionomer cement) และเรซินซีเมนต์ (Resin cement) เป็นต้น รูปแบบการใช้งานของซีเมนต์ทางทันตกรรมซีเมนต์ทางทันตกรรมที่ใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ โดยรูปแบบระบบบรรจุซีเมนต์ มีตั้งแต่ ระบบผงกับน้ำ (Powder liquid) ระบบ 2 หลอด (Two paste system) ระบบสองหลอดแบบผสมอัตโนมัติ (Automixed dispensing system), ระบบแคปซูลตวงสำเร็จ (Encapsulated system) ซึ่งรูปแบบของซีเมนต์ก่อนการผสมดังกล่าวทั้งหมด จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก (Base) และส่วนเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยอัตราส่วนผสมมีผลต่อคุณสมบัติและลักษณะของซีเมนต์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

ระบบการบรรจุซีเมนต์ก่อนการนำมาใช้งานในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ระบบสองขวด (Two bottle powder and liquid) ประกอบด้วยขวดบรรจุส่วนผงและขวดที่บรรจุส่วนเหลว มีการตวงส่วนผงในปริมาณที่เหมาะสมกับส่วนเหลวสำหรับการใช้งานในแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังมีระบบ premeasured system ที่มีความแม่นยำในจ่ายซีเมนต์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบ clicker สำหรับซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นครีมข้น และรูปแบบแคปซูล สำหรับซีเมนต์ชนิดผงและน้ำ

ส่วนผงของซีเมนต์ สามารถแบ่งได้หลากหลายแบบ เช่น ซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์เป็นหลัก ซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบอื่นที่ไม่ใช่ซิงค์ออกไซด์ ตัวอย่าง เช่น กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) มีส่วนผงเป็น ผงแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต (Fluoroaluminosilicate) หรือ ผงแก้วแคลเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์และฟอสเฟต โดยปัจจุบันอาจมีการแทนที่แคลเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในผงแก้วด้วยสตรอนเทียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ดียิ่งขึ้น สำหรับซีเมนต์กลุ่มที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (zinc phosphate cement) ซิงค์พอลิคาร์บอเนตซีเมนต์ (zinc polycarboxylate cement) และซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล (zinc oxide eugenol) เป็นต้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกลุ่มสารประกอบอื่น ๆ ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide) แบเรียมออกไซด์ (Barium Oxide) ไอรอนออกไซด์ (Iron Oxide) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) และซิลิกา (Silica) เป็นต้น

ส่วนเหลวของซีเมนต์ พบว่าส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของกรดพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างเช่น กรดพอลิอัลคีนอิก (Polyalkenoic acid) โดยมีกรดอะคริลิกเป็นสารตั้งต้นซึ่งกรดที่มีหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างโมเลกุล กรดพอลิอะคริลิกเป็นกรดอ่อน ถูกนำมาเป็นส่วนประกอบหลักในส่วนเหลวของซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากรด-ด่างกับผงแคลเซียมฟลูออ-

โรคภูมิโนซิลิเกตตกลาส กรดพอลิอะคริลิกสามารถเกิดพันธะเคมีกับผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ในผิวฟันได้ สามารถละลายชั้นสเมียร์ (Smear layer) กำจัดผิวปนเปื้อน ละลายแร่ธาตุบางส่วนที่ผิวฟัน และสามารถเพิ่มค่ากำลังยึดระหว่างผิวฟันกับซีเมนต์ได้ ซึ่งเป็นข้อดีของซีเมนต์ทางทันตกรรมที่แตกต่างจากวัสดุบูรณะชนิดอื่น ๆ คือ ให้การยึดติดที่ดีทั้งกับเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยพันธะเคมี สามารถปลดปล่อยและดูดสะสมฟลูออไรด์ซึ่งช่วยป้องกันฟันผุได้ มีความเข้ากันทางชีวภาพที่ดี และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน นอกจากนี้ยังมีซีเมนต์ประเภทหนึ่งที่มีความแตกต่างจากซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ เรซินซีเมนต์ (Resin cement) โดยส่วนผงของเรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์ และส่วนประกอบอัดแทรกอื่นๆ ส่วนเหลวเป็นเมทิลเมทาคริลเลท (Methyl methacrylates) และการก่อตัวอาศัยปฏิกิริยาโพลิเมไรเซชัน (Polymerizations)

การเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของซีเมนต์เป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน (complex reaction) ระหว่างส่วนผงที่เป็นต่าง และส่วนเหลวที่เป็นกรดอ่อน ซึ่งเป็นปฏิกิริยารด-ต่าง โดยเริ่มต้นขึ้นเมื่อทำการผสมส่วนผงเข้ากับส่วนเหลว ความเป็นกรดของส่วนเหลวจะกัดกร่อนบริเวณผิวของแก้วที่เป็นองค์ประกอบหลักในผงซีเมนต์ และเกิดการปลดปล่อยไอออนออกมาหลายชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา โดยไอออนดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของกรดกลายเป็นส่วนเมทริกซ์ของซีเมนต์ ส่วนของผงแก้วที่ทำปฏิกิริยากับกรดจะกลายเป็นชั้นซิลิกาเจล และอนุภาคของแก้วที่กระจายตัวอยู่จะทำหน้าที่เป็นวัสดุอัดแทรก

ปัจจุบันซีเมนต์ทางทันตกรรมได้มีการปรับปรุงและพัฒนาส่วนประกอบของส่วนผงและส่วนเหลวให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยการเติมสารดัดแปลงต่างๆ เช่น การเติมแร่ธาตุสตรอนเทียมในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เพื่อคุณสมบัติที่ดีขึ้น ได้แก่ ความที่บร้งสี ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย และประสิทธิภาพในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ดีขึ้น หรือการเติมฟลูออไรด์ในเรซินซีเมนต์เพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันฟันผุ โดยเรซินซีเมนต์มีข้อดีกว่าซีเมนต์ชนิดอื่นๆ คือ สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้โดยการฉายแสง และมีความสวยงามมากกว่า แต่ไม่มีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันฟันผุจากฟลูออไรด์ที่ผสมอยู่ในซีเมนต์ได้เหมือนซีเมนต์กลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้ยังได้มีการเติมสารยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial agents) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดฟันผุซ้ำภายหลังการบูรณะ นอกจากนี้ยังได้มีการปรับสถานะของกรด เช่นการเติมสารต่างๆเพิ่มเข้าไปในส่วนเหลวได้แก่ กรดทาร์ทา (Tartaric acid) กรดมาเลอิก (maleic acid) เพื่อเพิ่มอายุการใช้เป็นต้น และทำให้ในปัจจุบัน ได้มีการนำซีเมนต์ทางทันตกรรมมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น

โดยสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันเดี่ยวๆ หรือสามารถนำมาใช้ร่วมกับวัสดุบูรณะอื่นๆ เช่น อะมัลกัม (Amalgam) หรือเรซินคอมโพสิตได้ (Resin composite)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรม สามารถเตรียมได้จากห้องปฏิบัติการภายในประเทศ องค์ประกอบหลักของซีเมนต์โดยทั่วไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมในขั้นตอนต่างๆ เช่น การหลอม การอบ และการบดให้ได้อนุภาคที่เหมาะสมกับการใช้งานทางคลินิก ในซีเมนต์แต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างขององค์ประกอบภายในส่วนผง เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และซิงค์โพลีคาร์บอเนตซีเมนต์ มีซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) เป็นองค์ประกอบหลัก กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีอลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก หรือการเติมเรซินเมทริกซ์เข้ากับส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ของเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

การพัฒนาองค์ประกอบของส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรมได้มีมาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยพบว่าซีเมนต์ทางทันตกรรมที่สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งเป็นซีเมนต์ที่มีความสวยงามและความแข็งแรงเป็นที่ยอมรับได้ในทางคลินิก โดยคุณสมบัติส่วนใหญ่ของซีเมนต์ชนิดนี้มีผลมาจากอัตราส่วนของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ

สารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาและความแข็งแรงของซีเมนต์ โดยสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์ หรืออะลูมินา (Alumina) จัดเป็นออกไซด์ที่มีการใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันและยังคงมีการใช้มากขึ้นในอนาคต คุณสมบัติของอลูมิเนียมออกไซด์คือมีความแข็งแรงสูง มีความหนาแน่นสูงต้านทานต่อการขัดสีและการสึกกร่อน ทนต่อสารเคมี ส่วนซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา มักพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ในรูปของทรายหรือควอตซ์ เป็นแร่ธาตุที่มีความแข็ง มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสีหรือเป็นผลึกสีขาว ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยสารประกอบทั้งสองชนิดถือเป็นองค์ประกอบหลักของซีเมนต์ชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ โดยนอกจากความแข็งแรงแล้วยังมีผลต่อระยะเวลาในการก่อตัวและความทึบแสงของซีเมนต์อีกด้วย

1.2 ความสำคัญของการวิจัย

ปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยซีเมนต์ทางทันตกรรมเป็นที่นิยมแพร่หลาย ซีเมนต์ทางทันตกรรมที่ดีควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในช่องปาก เช่น คุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ที่ดี คงทนต่อแรงบดเคี้ยว เกิดการยึดติดทางกลหรือทางเคมีกับ

โครงสร้างฟันและชิ้นงานบูรณะ มีการผนึกบริเวณขอบ (Marginal seal) ดี มีการละลายตัวต่ำในสภาวะกรด ด้านทานการดูดความชื้น มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับเนื้อเยื่อในช่องปาก ความทึบรังสี (Radiopacity) มีเสถียรภาพของสี (Color stability) ซีเมนต์ทางทันตกรรมที่ใช้ทางคลินิกในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยต้องนำเข้าวัสดุทางทันตกรรมจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากด้วยราคาที่ค่อนข้างสูง ทำให้มีความคิดริเริ่มที่จะผลิตวัสดุทางทันตกรรมขึ้นใช้เองภายในประเทศเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้คนไข้ได้ใช้วัสดุที่มีราคาถูกลงและได้คุณภาพ โดยงานวิจัยชิ้นนี้อาจเป็นฐานความรู้ทางด้านทันตวัสดุศาสตร์ให้นักวิจัยต่อไป โดยการวิจัยนี้จะศึกษาและสังเคราะห์ส่วนของผงแก้วที่มีความสามารถในการก่อตัวเป็นซีเมนต์ที่ใช้ในทางทันตกรรม และนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ISO เมื่อทำการผสมกับของเหลวที่เป็นกรดพอลิอัลคิโนอิก (Polyalkenoic acid) และอาจมีการต่อยอดในการเติมส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของซีเมนต์ชนิดนี้ต่อไปในอนาคต

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินอัตราส่วนของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรมในกลุ่มวัสดุอุดฟันเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์ตามหลักการประเมินคุณสมบัติสากล (ISO 9917-1 Water-based cements Part1: Powder/liquid acid-base cement)

1.4 กรอบแนวคิดและขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental laboratory research) ที่มีตัวแปรต้น ได้แก่ ส่วนผงของซีเมนต์ที่ได้รับการเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ 4 ชนิดที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนระหว่างสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ คุณสมบัติทางกลของซีเมนต์ตามหลักการประเมินคุณสมบัติสากล (ISO 9917-1 Water-based cements Part1: Powder/liquid acid-base cement) ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัว ประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว ความแข็งแรงกดอัด การละลายตัวในกรด คุณสมบัติทางแสง และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ เนื่องจากคุณสมบัติทางคลินิกที่ต้องการของวัสดุบูรณะฟัน (Clinical requirement) ได้แก่ คุณสมบัติในการป้องกันการลุกลามของโรคฟันผุ และส่วนผงที่เตรียมได้ มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ จึงมีการประเมินความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์

กรอบแนวคิดงานวิจัยนี้ คือ ส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรมที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานและคุณสมบัติของวัสดุ โดยซีเมนต์ที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการนี้ มีคุณสมบัติการใช้งานและคุณสมบัติของวัสดุที่ใกล้เคียงเทียบเท่าคุณสมบัติสากลที่กำหนดไว้ใน ISO 9917-1 Water-based cements Part1: Powder/liquid acid-base cement หรือวัสดุซีเมนต์ทางทันตกรรมทางการค้า

ขอบเขตงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบคุณสมบัติของส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรมที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยนำส่วนผงดังกล่าวมาประเมินอัตราส่วนกับส่วนเหลวที่ได้จากซีเมนต์ทางทันตกรรมทางการค้าชนิดวัสดุอุดฟัน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม และนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลตามมาตรฐาน ISO 9917-1 (Water-based cements Part1: Powder/liquid acid-base cement) ต่อไป

1.5 สมมติฐานการวิจัย

H_0 : คุณสมบัติของส่วนผงของซีเมนต์ที่สังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างจากคุณสมบัติของซีเมนต์ทางทันตกรรมที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานสากล

H_1 : คุณสมบัติของส่วนผงของซีเมนต์ที่สังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างจากคุณสมบัติของซีเมนต์ทางทันตกรรมที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานสากล

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

Glass ionomer cement (GIC) ชนิดดั้งเดิม หมายถึง กลาสไอโอโนเมอร์ (Conventional glass ionomer cement) ที่แข็งตัวด้วยตัวเอง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซีเมนต์ทางทันตกรรม

ซีเมนต์ทางทันตกรรม หมายถึง สารที่เมื่อมีการแข็งตัวแล้วสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุรองพื้น (liner) วัสดุฐาน (base) วัสดุอุดฟัน (filling material) หรือเป็นวัสดุเชื่อมยึด (luting) ระหว่างโครงสร้างของฟันและชิ้นงานบูรณะต่างๆ ได้แก่ ครอบฟัน สะพานฟัน หรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น แบร็คเกตจัดฟัน เป็นต้น ซีเมนต์ทางทันตกรรมมักมีความแข็งแรงต่ำ แต่เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลาย จึงทำให้ซีเมนต์ทางทันตกรรมมีการใช้งานในทางคลินิกอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน^[1] โดยความสำเร็จของการบูรณะฟันนั้น ส่วนหนึ่งมาจากการเลือกประเภทและการเตรียมซีเมนต์ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการบูรณะเพื่อป้องกันความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นกับการบูรณะในอนาคต^[2]

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาเมื่อเลือกซีเมนต์ทันตกรรม คือ ซีเมนต์ต้องมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ไม่ทำอันตรายต่อโพรงประสาทฟันหรือเนื้อเยื่อในช่องปาก มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดี ได้แก่ มีความหนาของแผ่นฟิล์มที่เหมาะสม การละลายตัวต่ำ มีระยะเวลาการแข็งตัวที่เหมาะสม ทบรังสี มีความแข็งแรง ให้ค่าการยึดเกาะระหว่างโครงสร้างฟันและชิ้นงานบูรณะที่ดี และง่ายต่อการใช้งาน^[3-5]

2.2 ชนิดของซีเมนต์ทางทันตกรรม (Classification of dental cements)

การแบ่งชนิดของซีเมนต์ทางทันตกรรมสามารถแบ่งได้หลายกลุ่ม ดังนี้

2.2.1 องค์ประกอบหลักทางเคมี (Chief chemical ingredients)

โดยทั่วไปซีเมนต์ทางทันตกรรมมักประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว โดยทั้งสองส่วนจะทำปฏิกิริยากันในรูปแบบ กรด-ด่าง (acid-base) ในอดีตส่วนผงของซีเมนต์ทางทันตกรรมมักมีส่วนประกอบหลักคือซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) หรือสารประกอบอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาองค์ประกอบของซีเมนต์มากขึ้น นอกเหนือจากองค์ประกอบดังกล่าว เช่น เรซินซีเมนต์ ที่มีองค์ประกอบหลักคือเรซินเป็นต้น

ในปัจจุบัน หากจำแนกซีเมนต์ที่มีใช้ในทางคลินิกตามองค์ประกอบทางเคมีจะสามารถแบ่งได้ ดังนี้^[6]

2.2.1.1 ซีเมนต์ที่มีซิงค์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟต (Zinc phosphate cement) ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล (Zinc oxide eugenol cement) และซิงค์พอลิอะคริเลต (Zinc polyacrylate cement)

2.2.1.2 ซีเมนต์ที่มีแก้วไอออนโพลิเมอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Glass ionomer cement)

2.2.1.3 ซีเมนต์ที่มีเรซินบิสฟีนอลเอไกลิไซด์ เมทาครีเลท (bisphenol-a-glycidyl methacrylate (Bis-GMA)) และเมทาครีเลทอื่นๆ (other methacrylates) องค์ประกอบหลักเป็น ได้แก่ เรซินซีเมนต์ (Resin cement)

2.2.1.4 ซีเมนต์ที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก

2.2.2 ความยืนยาวของการบูรณะ (Longevity of restoration)

สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม^[7] ดังนี้

2.2.2.1. ซีเมนต์สำหรับการบูรณะชั่วคราว (Provisional cement)

ซีเมนต์สำหรับการบูรณะชั่วคราว สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตาม องค์ประกอบหลักของส่วนผสม ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ โดยส่วนเหลือเป็น ยูจีนอล (Eugenol) หรือสารอื่นๆ ในอดีตมักมีการผสมส่วนผสมร่วมกับยูจีนอลเพื่อใช้เป็นซีเมนต์ สำหรับการบูรณะชั่วคราว^[8] แต่พบว่าซีเมนต์มีการทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน และ ขัดขวางปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของเรซินคอมโพสิต อีกทั้งยังมีความหนาของ แผ่นฟิล์มมาก^[9, 10] ในปัจจุบันจึงได้มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมของซีเมนต์ชนิดนี้ โดยยังคงเป็น ซิงค์ออกไซด์ หรือพอลิคาร์บอกซิเลตที่เป็นส่วนผสม ร่วมกับส่วนเหลือที่เป็นกรดพอลิเมอร์ เช่น วัสดุ อุดฟันชั่วคราวประเภทซิงค์พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์

2.2.2.2 ซีเมนต์สำหรับการบูรณะถาวร (Definitive cement)

ซีเมนต์ในกลุ่มนี้มีหลายประเภท ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement) ซิงค์พอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (Zinc polycarboxylate cement) กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin-modified glass ionomer cement) และเรซินซีเมนต์ (Resin cement) แตกต่างกันตามองค์ประกอบภายใน ซีเมนต์

2.2.3 รูปแบบการใช้งานทางคลินิก (Clinical application)

ในปัจจุบันซีเมนต์ทางทันตกรรมสามารถใช้งานทางคลินิกได้หลากหลายรูปแบบ โดย ขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสมทางคุณสมบัติต่อการบูรณะแต่ละชนิด ซึ่งแตกต่างกัน ตามองค์ประกอบของซีเมนต์ และอัตราส่วนระหว่างส่วนผสมและส่วนเหลือของซีเมนต์ โดยสามารถ แบ่งได้ ดังนี้^[11]

2.2.3.1 สารเชื่อมยึด (Luting agents) คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับซีเมนต์ทางทันต กรรมที่ใช้เป็นสารเชื่อมยึด คือ คุณสมบัติในการไหลแผ่ และความหนาของแผ่นฟิล์ม โดยขนาด

อนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการเป็นสารเชื่อมติดนี้ควรมีขนาด 15 ไมโครเมตรหรือน้อยกว่า ซีเมนต์ในกลุ่มนี้ถูกออกแบบมาสำหรับการยึดติดชิ้นงานกับพื้นหลัก ได้แก่ ครอบฟัน (crown), สะพานฟัน (bridge) อินเลย์ (inlay) และแบร็คเกตจัดฟัน (brackets) เป็นต้น

2.2.3.2 วัสดุอุดฟัน (Filling materials) ได้มีการแบ่งซีเมนต์ประเภทนี้ออกเป็นอีก 2 กลุ่มย่อยตามความสวยงาม ได้แก่ การบูรณะฟันหน้าและการบูรณะฟันหลัง โดยการบูรณะฟันหน้าเป็นบริเวณที่ต้องคำนึงถึงความสวยงาม โดยซีเมนต์ในกลุ่มนี้ควรมีสีใกล้เคียงฟันธรรมชาติ มีความใส การบูรณะฟันหลังนั้นอาจไม่ต้องคำนึงถึงความสวยงามไม่จำเป็นต้องมีความโปร่งแสงมาก แต่ต้องมีความต้านทานต่อการขัดสี การดูดความชื้นในช่วงแรกต่ำและควรมีระยะก่อตัวเร็ว

2.2.3.3 วัสดุรองฟัน (Lining or base cements) ซีเมนต์ทางทันตกรรมกลุ่มนี้ควรมีอัตราส่วนระหว่างส่วนผงและส่วนเหลวต่ำ โดยในกลุ่มสารรองฟัน (liner) และกลุ่มฐาน (base) ควรมีความทึบรังสี และไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟัน

จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นว่าได้มีการแบ่งกลุ่มซีเมนต์ทางทันตกรรมหลากหลายกลุ่ม โดยในการศึกษานี้จะทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับซีเมนต์ทางทันตกรรมที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

2.3 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement)

กลาสไอโอโนเมอร์เป็นวัสดุที่ใช้บูรณะฟันที่ถูกคิดค้นโดย Alan Wilson และคณะในปี ค.ศ. 1960 เพื่อมาทดแทนวัสดุบูรณะฟันประเภทซิลิเกตซีเมนต์^[12] ที่มีคุณสมบัติด้อยกว่าวัสดุบูรณะในปัจจุบันมาก คือมีลักษณะที่เปราะ ไวต่อการละลายในกรด การยึดติดกับผิวฟันที่ไม่ดี และทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน ทำให้มีอาการเสียวฟันภายหลังการบูรณะ^[13] นอกจากนี้พื้นผิวของซิลิเกตซีเมนต์ยังมีการละลายตัวสูงทำให้เกิดการสึกกร่อนบริเวณพื้นผิวได้ง่าย และการเปลี่ยนสีของวัสดุหลังการบูรณะ ปฏิกิริยาของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นปฏิกิริยากรด-เบส เช่นเดียวกับซีเมนต์ประเภทซิงค์ฟอสเฟต (Zinc phosphate) ซิงค์โพลีคาร์บอกซีเลต (Zinc polycarboxylate) และซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล (Zinc oxide eugenol) ซีเมนต์ นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังเป็นซีเมนต์ที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ สามารถนำมาเป็นวัสดุอุดฟัน วัสดุรองฟันโพรงฟัน วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน รวมถึงเป็นวัสดุที่ใช้ยึดครอบฟันและสะพานฟัน โดยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันได้ดี มีความเข้ากันทางชีวภาพ และมีความการขยายตัวต่ำ^[14] ซึ่งนอกเหนือจากงานทันตกรรม ยังพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์สามารถเข้ากัน

ได้ทางชีวภาพอย่างดีในการใช้งานเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น การใช้ในงานศัลยกรรมกระดูก และศัลยกรรมด้านหูคอจมูก^[15]

คุณสมบัติที่สำคัญของกลาสไอโอโนเมอร์คือสามารถยึดติดกับโครงสร้างของฟันด้วยพันธะทางเคมี^[16] โดยนำมาใช้บูรณะฟันในบริเวณที่ไม่ต้องรับแรงบดเคี้ยวมาก และคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ไปยังผิวฟันโดยรอบได้ ช่วยป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำ^[17] และในการใช้งานทางคลินิกพบว่าภาวะความเป็นกรดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีผลต่อเนื้อฟันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับซิลิเกตซีเมนต์และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และสีของกลาสไอโอโนเมอร์ยังมีความใกล้เคียงกับสีฟันธรรมชาติ

ข้อเสียของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์คือเป็นวัสดุที่มีความไวต่อความชื้น โดยในระยะแรกของการปฏิบัติการก่อตัวจะมีการดูดความชื้น และเมื่อปฏิบัติการก่อตัวสิ้นสุดลงจะมีการคายความชื้น ดังนั้นจึงต้องมีการเคลือบพื้นผิวของวัสดุประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังการบูรณะเพื่อป้องกันการสัมผัสกับความชื้น^[18] นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ยังมีความเปราะ จึงไม่ควรเลือกนำมาบูรณะในบริเวณที่ต้องรับแรงมาก^[19] แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากคุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ที่มีหลากหลาย จึงทำให้วัสดุบูรณะประเภทนี้สามารถนำมาใช้ในทางคลินิกได้หลายชนิด เช่น เป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน ใช้บูรณะฟันบริเวณด้านประชิดและใช้เป็นสารยึดติดชิ้นงานบูรณะและฟันหลักยึด (abutment)^[20]

2.3.1 ส่วนประกอบของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Composition)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนผงและส่วนเหลว ในยุคแรกของการพัฒนาวัสดุนี้ ส่วนผงมีองค์ประกอบเป็นแก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกต และส่วนเหลวเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก (Polyacrylic acid) แต่เนื่องด้วยความเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของส่วนเหลว (Homopolymer) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์อยู่ใกล้ชิดกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ ส่งผลให้ส่วนเหลวมีความหนืดสูงขึ้นจนกลายเป็นเจล^[18, 21] จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการสังเคราะห์กรดออลิกลิกให้เป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ (Heteropolymer) ของกรดออลิกลิกกับกรดชนิดอื่น ได้แก่ กรดมาเลอิก (Maleic acid) หรือ กรดอิทาโคนิก (Itaconic acid) เป็นต้น แต่เนื่องจากระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่นานเกินไป Alan Wilson และคณะจึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเติมกรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) ลงในส่วนเหลวเพื่อลดระยะเวลาการก่อตัวลง^[22]

นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังสามารถแบ่งตามวิธีการดัดแปลง (modify) ด้วยวัสดุต่างๆ ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่อาศัยปฏิกิริยาของ

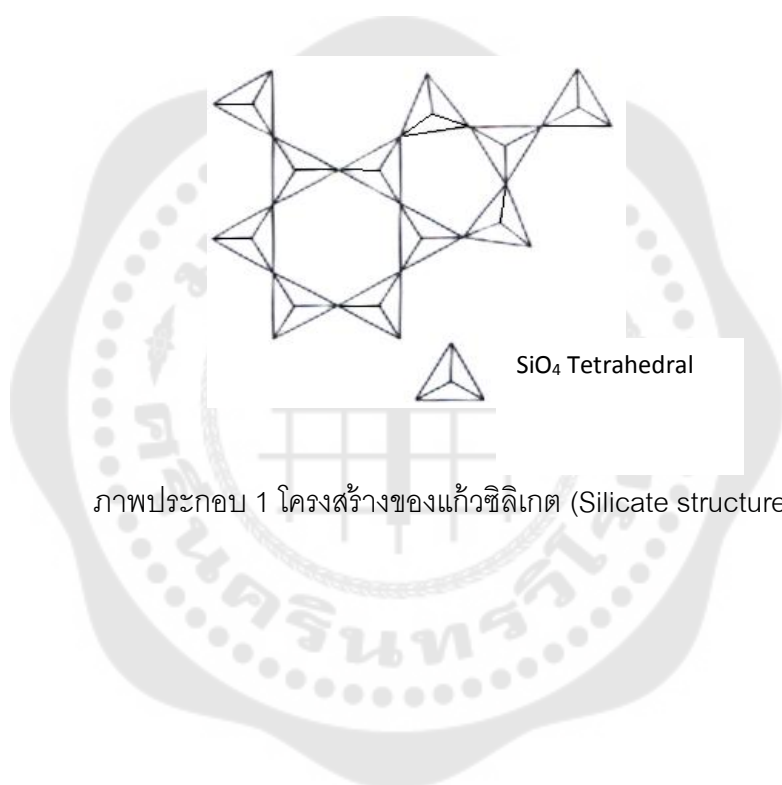
กรด-ด่างระหว่างกรอพลีอัลคิโนอิกและแก้วฟลูออโรลูมิเนียมซิลิเกตในการก่อตัว ซึ่งซีเมนต์ชนิดนี้ไม่ได้ดัดแปรด้วยวัสดุต่างชนิด กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยโลหะ โดยการเติมผงโลหะเข้าไปเพื่อเสริมให้ซีเมนต์มีความแกร่ง (Toughness) มากขึ้น และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน (Resin-modified glass-ionomer cement, RMGIC) เป็นการเติมสารไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (Hydroxyethylmethacrylate) หรือ ฮีมา (HEMA) ลงไปในส่วนเหลว ทำให้ค่าการละลายตัวเมื่ออยู่ในน้ำลดลง และทันตแพทย์สามารถทำให้ซีเมนต์บ่มตัวได้ตามระยะเวลาที่ต้องการ^[20] ส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส (Aluminosilicate glass) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งของไอออนสำหรับปฏิกิริยาก่อตัวของซีเมนต์^[11] โดยองค์ประกอบของแก้วจะควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาก่อตัวของซีเมนต์ และมีผลต่อความทึบแสงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

องค์ประกอบของผงแก้วถูกเตรียมขึ้นโดยการเผาส่วนผสมของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ครีโอลิต (cryolite, Na_3AlF_6), อลูมิเนียมไตรฟลูออไรด์ (AlF_3), แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) และอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) ที่อุณหภูมิ 1,100-1,500 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแก้ว หลังจากนั้นจะนำแก้วที่หลอมแล้วมาแช่ในน้ำเพื่อลดอุณหภูมิ และบดให้เป็นผงโดยใช้หัวบดทรงกลม โดยขนาดอนุภาคสำหรับกลาสไอโอโนเมอร์ที่ใหญ่ที่สุดในกลุ่มวัสดุอุดฟันคือ 45 ไมโครเมตร และกลุ่มสำหรับยึดติดชิ้นงานคือ 15 ไมโครเมตร การก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ จากการวิเคราะห์อัตราส่วนขององค์ประกอบภายในผงแก้วของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในอดีตพบว่า อัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีการศึกษาอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-1.5 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) โดยอัตราส่วนที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ และความแข็งแรงของซีเมนต์ พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5-0.75 โดยอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 0.75 พบว่าส่งผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ และทำให้ซีเมนต์มีความทึบแสงมาก ส่งผลต่อความสวยงามในการบูรณะ โดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้า นอกจากนี้ยังมีการเติมครีโอลิตเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของแก้วในขณะทำการหลอมและการเติมอลูมิเนียมฟอสเฟตเพื่อช่วยเพิ่มความโปร่งแสงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

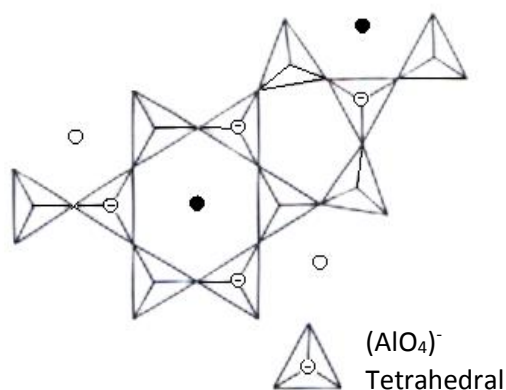
ความแตกต่างของโครงสร้างระหว่างผงแก้วอลูมิเนียมซิลิเกตและแก้วซิลิเกตในอดีตที่มีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์คือ แก้วซิลิเกตจะมีลักษณะเป็นอะตอมของซิลิกอน (Silicon) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron)

(ภาพประกอบที่ 1) ส่วนโครงสร้างของแก้วอลูมิโนซิลิเกตจะมีอะลูมิเนียมเข้ามาแทนที่ซิลิกอนบางส่วน ซึ่งอะลูมิเนียมมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับกรดในส่วนน้ำของกรดที่มีประจุเป็นบวกได้ (ภาพประกอบที่ 2) ในขณะที่แก้วซิลิเกตไม่มีประจุไฟฟ้า^[11]

ผงแก้วอลูมิโนซิลิเกตในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกที่มีชื่อว่า G200 (ASPA-I) (ตารางที่ 1) มีองค์ประกอบของผงแคลเซียมและฟลูออไรด์ในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลให้ซีเมนต์มีความโปร่งแสงต่ำ^[23] ไม่สวยงาม ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนของฟลูออไรด์ทำให้แก้วมีความทึบแสง^[24]



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของแก้วซิลิเกต (Silicate structure)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของแก้วอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate structure)

ที่มา: Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cements. Chicago: Quintessence Publishing Company; 1988.

ตาราง 1 องค์ประกอบของผงแก้วในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด G200 (ASPA-I)

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยมวล)
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	30.1
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	19.9
อลูมิเนียมฟลูออไรด์ (AlF ₃)	2.6
แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF ₂)	34.5
โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF)	3.7
อลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO ₄)	10.0

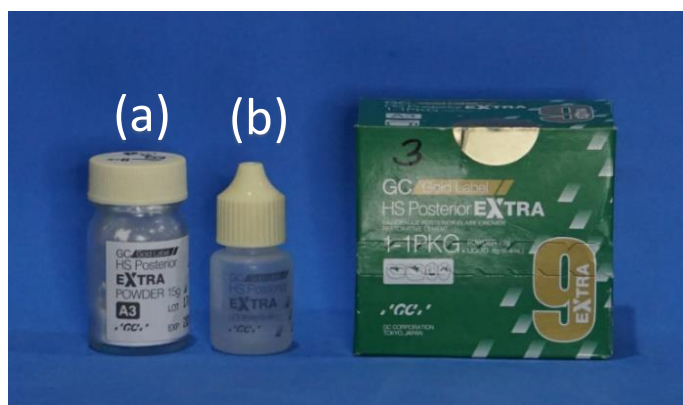
ที่มา: Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cements. Chicago: Quintessence Publishing Company; 1988.

ในเวลาต่อมาได้มีการปรับปรุงองค์ประกอบของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด G200 (ASPA-I) ซึ่งเป็นการปรับปรุงการปฏิกิริยาก่อตัวให้ดียิ่งขึ้นโดยการเติมกรดทาร์ทาริก ให้เป็นสารควบคุมปฏิกิริยา ทำให้ระยะเวลาการทำงานยาวนานขึ้น และมีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในผงแก้ว และใช้ชื่อกลาสไอโอโนเมอร์ที่ปรับปรุงแล้วว่า G338 (ASPA-II) และออกจำหน่ายในท้องตลาดเป็นครั้งแรกเมื่อปี 1975^[25] และได้มีการปรับปรุงสูตรของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มาอย่างต่อเนื่องจนถึง ASPA-IV

จากข้อมูลข้างต้นจะสังเกตว่าในผงแก้วอะลูมิโนซิลิเกต มีการเติมอลูมิเนียมเข้าไปในโครงสร้างของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเติมแคลเซียมเป็นส่วนช่วยในการหลอมแก้วในรูปของแคลเซียมฟลูออไรด์ โดยการปลดปล่อยแคลเซียมจะเกิดขึ้นเร็วกว่าอลูมิเนียม^[26] และในระหว่างการเตรียมผงแก้ว ฟลูออไรด์จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และสามารถถูกดูดซึมไปยังโครงสร้างของฟันโดยรอบภายหลังการบูรณะ ให้ผิวฟันสามารถต้านทานต่อการเกิดฟันผุได้^[27] นอกจากนี้ฟลูออไรด์ยังช่วยลดอุณหภูมิการหลอมเหลวในขณะหลอมแก้ว เพิ่มความแข็งแรงให้กับซีเมนต์ และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของซีเมนต์ให้ดียิ่งขึ้น^[28]

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่เพียงแต่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ แต่ยังสามารถปลดปล่อยแร่ธาตุอื่นๆได้ เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และฟอสเฟตไฮดรอกไซด์^[29] โดยมีการศึกษาที่ใช้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji IX) ที่มีการใช้แร่ธาตุสตรอนเทียม (strontium) ทดแทนแคลเซียมบางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ โดยผู้วิจัยได้รายงานว่แคลเซียมและสตรอนเทียมสามารถแทรกซึมเข้าไปสู่เนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) ภายในโพรงฟันได้ ทำให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ (Remineralization)^[30]

ในปัจจุบันองค์ประกอบของส่วนผงของซีเมนต์ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากองค์ประกอบของซีเมนต์ในอดีต โดยได้มีการปรับปรุงองค์ประกอบของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมากตามบริษัทผู้ผลิต เช่น การเติมซิงค์ (zinc) (Chemfil Rock; Dentsply DeTrey), แลนทานัม (lanthanum) (Ketac Molar; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA), สตรอนเทียม (strontium) (Fuji IX; GC Corporation, Tokyo, Japan (ภาพประกอบที่ 7) และ Ionofil Molar; Voco GmbH, Cuxhaven, Germany)^[31] โดยความสามารถในการทำปฏิกิริยาของผงแก้วจะขึ้นอยู่กับส่วนเหลวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งจะถูกกำหนดโดยองค์ประกอบทางเคมี^[11] อุณหภูมิในการหลอมแก้ว บริเวณผิวของส่วนผงแก้วที่มีการสัมผัสกับกรด^[32] และขนาดอนุภาคของผงแก้ว^[33]



ภาพประกอบ 3 กลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า (Fuji IX, GC Corp., Japan)

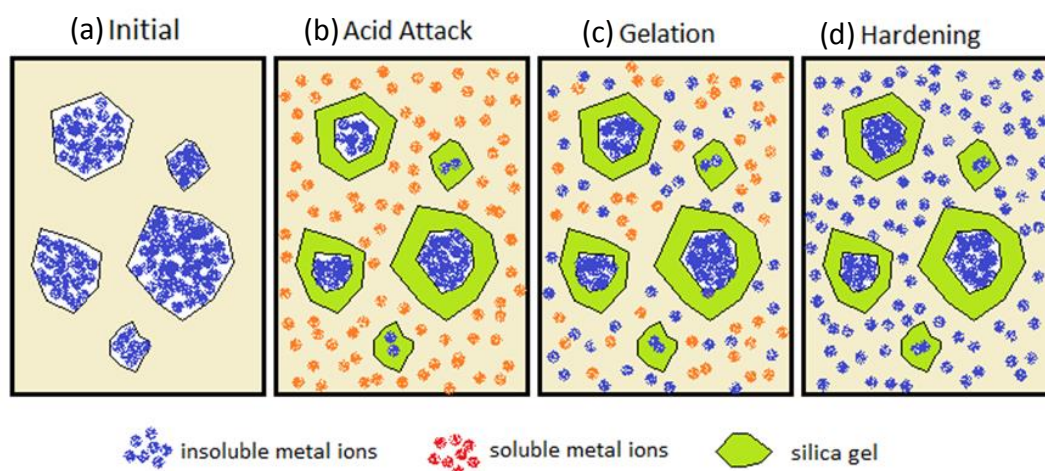
ระบบ 2 ขวด ประกอบด้วยส่วนผง (15g.) (a) และน้ำ (8g. /6.4ml.) (b)

2.3.2 ปฏิกริยาการก่อตัวของกลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Setting reaction)

ปฏิกริยาการก่อตัวของกลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์จะแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรก เป็นการละลาย (Dissolution phase) เริ่มเมื่อผสมส่วนผงเข้ากับส่วนเหลว มีปฏิกริยาเคมีแบบกรด-เบส (acid-base) โดยมีน้ำเป็นตัวกลางช่วยให้เกิดปฏิกริยา ในการเกิดปฏิกริยานั้น กรดต่างๆ ในส่วนเหลวจะทำปฏิกริยาบริเวณผิวของส่วนผง ทำให้มีการปล่อยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จากผิวของส่วนผง โดยในระยะแรกนั้นแคลเซียมไอออน จะถูกปล่อยออกมาก่อน และปล่อยออกมาอย่างรวดเร็วกว่าอลูมิเนียมไอออน ระยะที่สองเป็นระยะการเกิดเจล (gelation phase) แคลเซียมไอออนจะทำปฏิกริยากับกลุ่มคาร์บอกซิลของกรด เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอกซิเลต (calcium carboxylate) ขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นเมทริกซ์ยึดผลึกแก้วที่เป็นตัวเชื่อม (glass filler) เข้าด้วยกัน เกิดเป็นการแข็งตัวเริ่มต้น (initial set) โดยปฏิกริยาการละลายและการเกิดเจลนี้จะใช้เวลาประมาณ 4-6 นาที ตั้งแต่เริ่มผสม ซึ่งเกลือของแคลเซียมคาร์บอกซิเลต (calcium carboxylate salt) ที่ได้จากการผสมนี้จะละลายน้ำได้ง่ายและไม่เสถียร ดังนั้นในระยะแรกจึงต้องระมัดระวังไม่ให้กลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมใหม่ๆ สัมผัสกับน้ำหรือความชื้น และภายหลังการแข็งตัวเริ่มขึ้นแล้ว ปฏิกริยายังคงดำเนินต่อไปโดยอลูมิเนียมไอออน ซึ่งปล่อยออกมาช้ากว่าจะทำปฏิกริยากับกลุ่มคาร์บอกซิล เกิดเป็นเกลือของอลูมิเนียมคาร์บอกซิเลต ซึ่งเสถียรกว่าเกลือแคลเซียมคาร์บอกซิเลต ทำให้เกิดการแข็งตัวเต็มที่ (final set) และเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ การแข็งตัวเต็มที่นี้จะใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงภายหลังการผสม นอกจากนี้

แคลเซียมที่อยู่ในตัวฟันยังสามารถจับกับโมเลกุลของกรดได้เช่นกัน ทำให้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยึดกับเนื้อฟันได้ ส่วนประจุอื่นๆเช่น ฟลูออไรด์ไอออน (F⁻) ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาก็จะอยู่เป็นอิสระและค่อยๆถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุ เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ส่วนผงที่เหลือจากการแตกตัวก็จะกระจายแทรกอยู่ทั่วไปในซีเมนต์ (ภาพประกอบที่ 4)

จะเห็นได้ว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมนั้นเป็นวัสดุที่มีระยะการแข็งตัวเต็มที่นาน คือการแข็งตัวเริ่มต้นจะใช้เวลาประมาณ 4-6 นาที และแข็งตัวเต็มที่ใช้เวลา 24 ชั่วโมง และขณะเดียวกัน ระยะเวลาการทำงาน (working time) ค่อนข้างสั้น คือประมาณ 3-4 นาที ภายหลังการผสม ซึ่งถือเป็นข้อด้อยที่สำคัญของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม โครงสร้างของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วจะเป็นกลาสฟิลเลอร์ (glass filler) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวัสดุ (core material) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาด้วยกรด (ประมาณร้อยละ 70 ของขนาดเดิม) ล้อมรอบด้วยซิลิกาเจล (Silica gel) ซึ่งก็คือส่วนของซิลิกาที่แยกส่วนของแคลเซียมไอออน และอลูมิเนียมไอออนออกไปแล้ว ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน เกิดเป็นซิลิกาไฮโดรเจล และส่วนพอลิซอล (Polysalt) ของอลูมิเนียมคาร์บอกซิเลต (Aluminium carboxylate) กับแคลเซียมคาร์บอกซิเลต (Calcium carboxylate) ที่ยึดวัสดุอัดแทรกแก้ว (glass filler) เข้าไว้ด้วยกัน^[11] ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสูตรของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มากมายเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในวัตถุประสงค์ต่างกัน



- ภาพประกอบ 4 ปฏิกริยาทางเคมีของการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ 4 ระยะ
- (a) ระยะเริ่มต้น เมื่อมีการผสมส่วนผงและส่วนเหลว ส่วนผงจะถูกล้อมรอบด้วยส่วนเหลว
- (b) กรดเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของผงแก้ว มีการปลดปล่อยไอออนที่ละลายน้ำออกมา
- (c) ระยะก่อเจล ส่วนเหลวจะห่อหุ้มอนุภาคผงแก้ว เริ่มมีการปลดปล่อยไอออนที่ไม่ละลายน้ำ
- (d) ระยะแข็งตัว ซีเมนต์มีการแข็งตัวอย่างเต็มที่ ไอออนที่ไม่ละลายน้ำถูกปลดปล่อยออกมา

ที่มา: Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cements. Chicago: Quintessence Publishing Company; 1988.

2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

คุณสมบัติของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างส่วนผงและส่วนเหลว ความเข้มข้นของกรดพอลิอะคริลิก ขนาดอนุภาคของผงแก้วและอายุของซีเมนต์^[34] อัตราส่วนระหว่างส่วนผงและส่วนเหลวมีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคของซีเมนต์โดยพิจารณาจากการประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope ,TEM) และการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray micro-analysis) โครงสร้างสุดท้ายของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุผสม (composite material) จะประกอบด้วยอนุภาคของแก้วที่เหลืออยู่ ฐานจากกรดและล้อมรอบด้วยซิลิกาเจลและเกลือพอลิซอลท์ ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้เมทริกซ์ยึดอยู่ได้ประกอบด้วยการเชื่อมโยง และการเชื่อมต่อกันของไอออน การพิจารณาที่สำคัญคือ หากอนุภาคของผงแก้วมีค่าน้อยกว่าจุดวิกฤติ (critical point) ก็จะส่งผลให้อนุภาคของแก้วที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาทั้งหมดถูกทำลายโดยการกัด

ก่อนจากกรด ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ลดลง ปัจจุบันมาตรฐาน ISO 9917-1 ได้มีการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ชนิดที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (water-based cements) สำหรับการใช้งานทางคลินิก (ตารางที่ 2)

โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของซีเมนต์ที่ทำการผสม โดยซีเมนต์ที่มีความเหนียวข้นมากกว่าจะเกิดปฏิกิริยาก่อตัวเร็วกว่าและมีความแข็งแรงมากกว่า ซีเมนต์ที่มีความเหลว โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Wilson ที่พบว่าปริมาณส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นในซีเมนต์จะทำให้ซีเมนต์มีความเหนียวข้นมากขึ้นและส่งผลต่อระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาก่อตัวและความแข็งแรงของซีเมนต์ อย่างไรก็ตามสถานการณ์ดังกล่าวก็มีจุดวิกฤติซึ่งเป็นจุดที่เมทริกซ์ในซีเมนต์ไม่เพียงพอต่อการยึดกับส่วนประกอบต่างๆในซีเมนต์เข้าไว้ด้วยกัน^[28] โดยส่งผลให้วัสดุมีความเปราะ (brittle) คุณสมบัติทางกลของซีเมนต์ลดลง ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แตกต่างจากวัสดุบูรณะชนิดอื่น โดยถือเป็นข้อจำกัดสำหรับการใช้งานทางคลินิก ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อการใช้งานทางคลินิกของกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าให้ดียิ่งขึ้น (ตารางที่ 3) เช่นการเติมอนุภาคโลหะ^[35] การผสมอนุภาคนาโน^[36] และการเติมเรซินในเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์^[20] เพื่อลดความเปราะและเพิ่มความแข็งแรง

ตาราง 2 คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์สำหรับการใช้งานทางคลินิกตามมาตรฐาน ISO 9917

ประเภทของซีเมนต์	รูปแบบ การใช้งาน	ความ							คุณสมบัติ ทางแสง C _{0.70}				
		หนา แผ่น ฟิล์ม	เวลาใน		ความ ต้านทาน แรงอัด	ระยะการ กัดกร่อน ด้วยกรด	คุณสมบัติ						
			การก่อตัว (นาที)				C _{0.70}						
				สูงสุด/ ไมโคร เมตร						ต่ำสุด/ เมกะปาสคาล	สูงสุด/ มิลลิเมตร		
							ต่ำสุด	สูงสุด				ต่ำสุด	สูงสุด
ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์	เชื่อมยึด	25	2.5	8	50	0.30							
ซิงค์โพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์	เชื่อมยึด	25	2.5	8	50	0.40							
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	เชื่อมยึด	25	1.5	8	50	0.17							
ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์	รองพื้น		2	6	50	0.30							
ซิงค์โพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์	รองพื้น		2	6	50	0.40							
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	รองพื้น		1.5	6	50	0.17							
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	อุดฟัน		1.5	6	100	0.17	0.35	0.90					

ที่มา : ISO 9917-1 Dentistry Water-based cements. Part1: Powder/liquid acid-base cements. Geneva Switzerland 2007.

ตาราง 3 คุณสมบัติทางกายภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า (Fuji IX,GC Corp., Japan)

คุณสมบัติ	สภาวะ(condition)	กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Fuji IX,GC Corp., Japan)
ระยะเวลาในการทำงานทั้งหมด (นาทีย) (Working time)	23 องศาเซลเซียส	2.00
ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มผสมจนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ (นาทีย) (Final Finishing Commencing Time)	37 องศาเซลเซียส (หลังการผสม)	6.00
ความแข็งผิว (HV) (Surface Hardness)	หลัง 24 ชั่วโมง	74±3
ความต้านทานแรงอัด (เมกะปาสคาล) (Compressive strength)	หลัง 24 ชั่วโมง หลัง 1 สัปดาห์	220±9 230±14
ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (GPa) (Modulus of Elasticity)	หลัง 24 ชั่วโมง	8.3±0.5
ค่าความแข็งแรงดึงตามศูนย์กลาง (เมกะปาสคาล) (Diametral tensile strength)	หลัง 24 ชั่วโมง	22±2
ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (เมกะปาสคาล) (Flexural strength)	หลัง 24 ชั่วโมง	26±4
ค่าความทึบรังสี (Radiopacity, mm Al)		3.7±0.3
ค่ากำลังยึดเหนี่ยว (เมกะปาสคาล) (Bond strength)	เคลือบฟัน (enamel) เนื้อฟัน (dentin)	5.9±1.7 4.4±1.6

ที่ ม ๑ :<http://sea.gcasiadental.com/Upload/product/pdf/16/Brochure-GC-Gold-Label-9-EXTRA.pdf>

2.3.4 คุณสมบัติทางการปลดปล่อยแร่ธาตุ (Ion-releasing property)

เป็นที่ทราบกันดีว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมมีการปลดปล่อยไอออนได้หลายชนิด เช่น แคลเซียมไอออน โซเดียมไอออน อลูมิเนียมไอออน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในวัสดุและพีเอชของสารละลายที่อยู่โดยรอบวัสดุ จากการศึกษาที่ทดลองเก็บวัสดุไว้ในสารละลายกรดแลคติก (Lactic acid) พบว่าจะมีการปลดปล่อยไอออนออกมามากกว่าปกติ โดยเฉพาะแคลเซียมหรืออลูมิเนียมที่ไม่พบการปลดปล่อยออกมาในภาวะธรรมชาติ^[20] และคุณสมบัติการปลดปล่อยไอออนที่เป็นที่ยอมรับและเป็นข้อดีของกลาสไอโอโนเมอร์คือ การปลดปล่อยฟลูออไรด์จากวัสดุ เนื่องจากสามารถช่วยยับยั้งการเกิดฟันผุ นอกจากนี้วัสดุประเภทดัดแปลงด้วยเรซิน เช่น เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือวัสดุชนิดเรซินคอมโพสิตพบว่าการปลดปล่อยไอออนของธาตุโลหะซึ่งจะไปรบกวนความเข้ากันได้ทางชีวภาพเนื่องจากมีความเป็นพิษ เช่น ทองแดง (Copper), เหล็ก (Iron)^[37]

2.3.4.1 การปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)

คุณสมบัติในการปลดปล่อยแร่ธาตุฟลูออไรด์ถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เนื่องจากสามารถช่วยป้องกันการเกิดฟันผุ^[38] จากการศึกษาพบว่าฟลูออไรด์สามารถปลดปล่อยออกมาได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาถึง 5 ปี ภายใต้ น้ำประปา^[39] รูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในระยะแรก จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณสูง (Early burst) หลังจากนั้นรูปแบบการปลดปล่อยจะลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วและปลดปล่อยในปริมาณต่ำๆต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน^[40]

นอกจากนี้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถกระตุ้นการเจริญของกระดูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเติมเต็มในส่วนที่เป็นช่องว่างรอบๆกระดูกเทียมและไม่มีความผิดปกติใดๆในการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สำหรับการทดลองในสัตว์และมนุษย์ พบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระดับที่เหมาะสมส่งผลต่อร่างกายไปในทางที่ดี ในทางทันตกรรมนั้นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากการปลดปล่อยฟลูออไรด์เป็นประโยชน์อย่างมาก โดยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ส่วนใหญ่จะปลดปล่อยควบคู่กับโซเดียม หรือแคลเซียม ฟลูออไรด์จะถูกดูดซึมเข้าไปยังฟันที่อยู่ติดกับวัสดุ ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างที่มีความคงทนและแข็งแรง จึงสามารถช่วยลดการเกิดฟันผุได้ โดยฟลูออไรด์ไอออนสามารถเข้าไปเกาะได้ดีกับไฮดรอกซีแอพาไทต์ (hydroxyapatite) โดยเข้าไปเชื่อมกับไฮดรอกซิลไอออน ได้โครงสร้างของฟลูออไรด์ที่เรียกว่าฟลูออแอพาไทต์ (fluorapatite) ซึ่งมีพลังงานของผลึกน้อยกว่าไฮดรอกซีแอพาไทต์ ส่งผลให้การสับเปลี่ยนไอออนที่แทนที่ด้วยฟลูออแอพาไทต์จะเปลี่ยนแปลงได้ยากกว่า และมีความต้านทานต่อ

การสัมผัสกับกรดมากกว่าไฮดรอกซีแอพาไทต์ ทั้งนี้เนื่องจากฟลูออไรด์ไอออนมีขนาดเล็กกว่าไฮดรอกซีไอออน จึงทำให้ง่ายต่อการแทรกเข้าไปในผลึกของแอพาไทต์^[41]

ฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของฟันให้มีความแข็งแรง ทนต่อการสัมผัสกับกรด และลดการเกิดฟันผุแล้ว ยังสามารถยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียได้อีก เช่น การยับยั้งการสร้างอาณานิคม (colonization) และการผลิตกรด^[28]

2.3.4.2 การปลดปล่อยอลูมิเนียม (Aluminum release)

อลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหลักในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ในระหว่างการผสมและการก่อตัวของซีเมนต์จะมีการปลดปล่อยอลูมิเนียมไอออนออกมาจากผงแก้วไปยังสารละลายกรด โดยมีการปลดปล่อยออกมามากกว่าในระยะแรก และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพน้อย เนื่องจากเป็นสารอนินทรีย์ โดยหากมีในปริมาณสูงจะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่ออวัยวะในร่างกาย เช่น ปอด กระดูก และระบบประสาท

ปริมาณอลูมิเนียมในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นถือว่ามีปริมาณน้อยมากและไม่ก่อให้เกิดปัญหา โดยการปลดปล่อยอลูมิเนียมไอออนนั้นทำให้เกิดการพอกของแร่ธาตุ (mineralized) ของเนื้อเยื่อฟันหรือกระดูกได้ โดยหลักการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการพอกของแร่ธาตุคือขนาดของไฮดรอกซีแอพาไทต์ที่เพิ่มขึ้น และคาดว่าอลูมิเนียมไอออนจะยังคงอยู่บนบริเวณผิวหน้าของวัสดุ^[42] นอกจากนี้การปลดปล่อยอลูมิเนียมไอออนออกมาจากซีเมนต์ที่ก่อตัวแล้วสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรคฟันผุได้ ได้แก่ เชื้อ *Streptococcus mutans*.^[43]

2.3.4.3 การปลดปล่อยซิลิกา (silicon release)

การปลดปล่อยซิลิกาในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้บูรณะฟันหรือที่ใช้ในการรักษากระดูกจะทำให้ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดี โดยมีการศึกษาที่พบว่า การปลดปล่อยซิลิกอนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ขึ้นทดสอบ ซึ่งพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่มีการเติมสารชีวภาพ (bioactive glass) มีการชักนำให้เกิดการพอกแร่ธาตุของผิวหน้าของแผ่นฟันมากที่สุด^[44] และเนื้อฟันที่อยู่ติดกับวัสดุบูรณะนั้นมีการเพิ่มขึ้นของฟลูออไรด์ อลูมิเนียมและซิลิกอน ในขณะที่มีการลดลงของแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งองค์ประกอบบางชนิดในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เช่น อลูมิเนียม ฟลูออไรด์ และซิลิกา มีแนวโน้มที่จะเข้าไปแทนที่แคลเซียม และฟอสฟอรัสบางส่วนในแอพาไทต์จากกระบวนการคืนกลับของธาตุ (remineralized)^[45]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมส่วนผสมของซีเมนต์ทางทันตกรรมในห้องปฏิบัติการ (Fabrication)

สารตั้งต้นที่ใช้การเตรียมส่วนผสมของซีเมนต์ทางทันตกรรม ได้แก่ สารประกอบ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) และแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และนำไปใช้ในสภาพที่ได้รับจากบริษัทผู้ผลิต (ตารางที่ 4) นำสารประกอบดังกล่าวขึ้นต้น มาหลอมรวมตัวกันด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5) ด้วยเตาหลอมแก้ว (High Temperature Bottom Loading Furnace, Carbolite-BLF1700, CARBOLITE GERO, United Kingdom) ด้วยอุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำแก้วที่หลอมได้ มาทำการอบด้วยเตาอบแก้ว (Thermolyne Ashing Furnaces, Type 6000, Thermo Scientific, United Kingdom) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตาราง 4 สารประกอบที่ใช้ในการเตรียมส่วนผสมของซีเมนต์

สารประกอบ	บริษัทผู้ผลิต	เลขที่ผลิต
1. อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	CARLO ERBA Reagents S.A.S., France	4G128284G
2. ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	Sigma-Aldrich, Inc. USA	SZBB3270V
3. แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2)	CARLO ERBA Reagents S.A.S., France	7A193227A
4. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)	CARLO ERBA Reagents S.A.S., France	5B030515C
5. โซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4)	ACROS Organics, Spain	A0378611
6. แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)	ACROS Organics, Spain	A0367797

อัตราส่วนของสารประกอบในซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันของสารประกอบอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม (G.1-G.4) โดยเรียงตามชนิดของซีเมนต์ A-D ดังนี้

ตาราง 5 อัตราส่วนสารประกอบของส่วนผสมของซีเมนต์ 4 ชนิด (A-D)

องค์ประกอบ ที่ใช้เตรียม	ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	Glass A (G.1)	Glass B (G.2)	Glass C (G.3)	Glass D (G.4)
CaF ₂	24.74	24.74	24.74	24.74
CaCO ₃	8.21	8.21	8.21	8.21
Na ₂ PO ₄	3.096	3.096	3.096	3.096
BaCO ₃	0.438	0.438	0.438	0.438
Al ₂ O ₃	25.66	22.66	21.66	19.66
SiO ₂	37.32	40.32	41.32	43.32

เมื่อทำการเตรียมส่วนผสมโดยการหลอมแก้วทั้ง 4 ชนิด ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) (BRUKER รุ่นtiger s8, BRUKER, Stuttgart, Germany) พบว่าผงซีเมนต์ที่เตรียมได้มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

ตาราง 6 องค์ประกอบของผงซีเมนต์ภายหลังการเตรียมโดยวิธีการหลอมแก้ว

องค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	Glass A (G.1)	Glass B (G.2)	Glass C (G.3)	Glass D (G.4)
F	10.0	10.9	10.4	9.0
Na ₂ O	1.7	1.4	1.2	1.2
Al ₂ O ₃	26.5	24.1	22.7	20.7
SiO ₂	34.3	34.6	38.2	39.7
P ₂ O ₅	1.5	1.5	1.5	1.5
CaO	25.6	27.0	25.4	26.2
BaO	0.4	0.5	0.6	0.5
Al ₂ O ₃ :SiO ₂	0.78	0.69	0.59	0.52

3.2 การบดผงแก้ว

แก้วที่หลอมได้ในแต่ละกลุ่ม (A-D) ที่เตรียมได้จากสารประกอบวัตถุดิบในหัวข้อที่ 1 นำมาบดด้วยหม้อบดเซอโคเนียร์ (PLANETARY BALL MILL PM100, RETSCH, Germany) เป็นระยะเวลา 6 นาที จากนั้นนำผงแก้วในแต่ละกลุ่มมาวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่อง Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer (LA-960 Horiba scientific, USA)

3.3 การหาอัตราส่วนระหว่างส่วนผงที่เตรียมได้กับส่วนเหลวของซีเมนต์ทางทันตกรรม

นำส่วนผงของซีเมนต์ที่เตรียมได้ทั้ง 4 ชนิดมาผ่านการอบไล่ความชื้น ด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven, ED400, BINDER, Germany) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการเก็บในตู้เก็บสารเคมีที่มีซิลิกาเจล (Silica gel) และมาทำการผสมเข้ากับส่วนเหลวของซีเมนต์ทางทันตกรรมในกลุ่มวัสดุอุดฟัน (Filling cement) โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ส่วนเหลวของซีเมนต์ชนิดกลาสไอโอโนเมอร์ (Fuji IX™, GC Corp., Japan) และผสมตามอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 6 อัตราส่วน ตามน้ำหนักของส่วนผงที่ใช้ในการผสม (กรัม) ดังนี้ 3.4 : 1 3.0 : 1 2.6 : 1 2.2 : 1 1.8 : 1 1.4 : 1 จากนั้นเลือกอัตราส่วนของซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่เท่ากันทุกกลุ่ม โดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพของซีเมนต์ โดยเมื่อทำการผสมส่วนผงเข้ากับส่วนเหลวแล้วซีเมนต์เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนผงทำปฏิกิริยากับส่วนเหลวทั้งหมด ไม่มีส่วนผงหลงเหลืออยู่ มีลักษณะเหนียว บั่นได้ (Doughy)

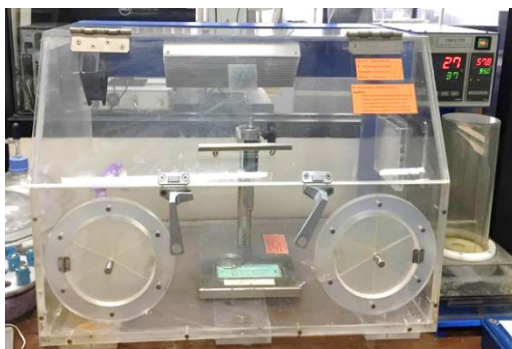
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม

เมื่อทำการผสมซีเมนต์และได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผงและส่วนเหลวแล้ว นำอัตราส่วนดังกล่าวมาใช้ในการเตรียมการทดสอบคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

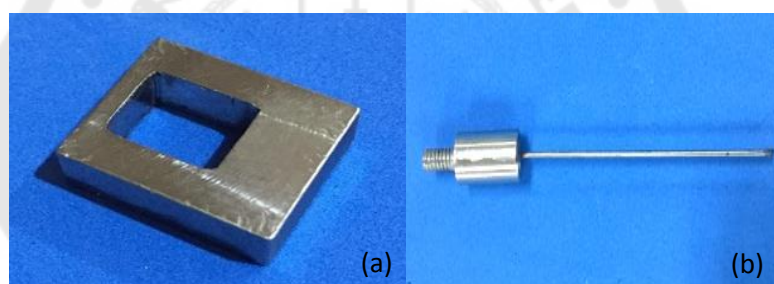
3.4.1 การประเมินระยะก่อตัวของซีเมนต์ (Setting time)

การประเมินระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ ด้วยวิธีเข็มกิลมอร์ (HM-310 Gillmore Needle Apparatus, Gilson company, Inc ,USA) โดยการเตรียมชิ้นงานซีเมนต์ทดสอบ ด้วยการผสมซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมตามการใช้งานของซีเมนต์แต่ละชนิด และนำเข้าไปใส่ในแบบโลหะไร้สนิม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร การวัดระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์จะเริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มผสมด้วยนาฬิกาจับ จนกระทั่งนำเข้าไปใส่ในแบบโลหะจนเต็ม หลังจากนั้นให้เข็ม ปลายเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ให้แรง 400 กรัม ตามมาตรฐาน ISO 9917 สัมผัสลงบริเวณผิวหน้าของซีเมนต์เป็นเวลา 5 วินาที โดยทำทุก ๆ 10 วินาที จนกว่าเมื่อเข็มสัมผัสผิวหน้าซีเมนต์ จะไม่เกิดรอยบนพื้นผิวของซีเมนต์ หรือ มีซีเมนต์ติดปลายเข็ม

ให้บันทึกเวลา ณ จุดนั้น เป็นจุดสิ้นสุดการจับเวลา และถือเป็นระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์ชั้นแรก (Initial setting) การทดสอบทำภายใต้ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98



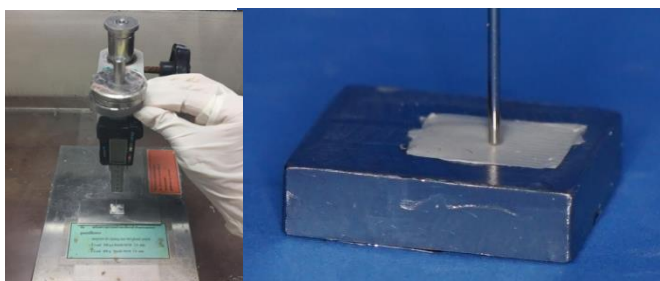
ภาพประกอบ 5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขณะทำการทดสอบระยะเวลาก่อตัว



ภาพประกอบ 6 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบระยะเวลาก่อตัว

(a) แม่พิมพ์โลหะขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร

(b) เข็มกลิมอร์ (HM-310 Gillmore Needle Apparatus, Gilson company, Inc ,USA)



ภาพประกอบ 7 ลักษณะการใช้อุปกรณ์ขณะทำการทดสอบระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์

3.4.2 การประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว

เตรียมชิ้นซีเมนต์ทดสอบ โดยการผสมส่วนผสมของซีเมนต์และส่วนน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสม นำชิ้นตัวอย่างทดสอบผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope : SEM (JSM-6360LV, JEOL, USA, Inc.) 20 kV กำลังขยาย 500 เท่าและ 3000 เท่า



ภาพประกอบ 8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

(Scanning Electron Microscope: SEM (JSM-6360LV, JEOL, USA, Inc.)

3.4.3 การประเมินความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

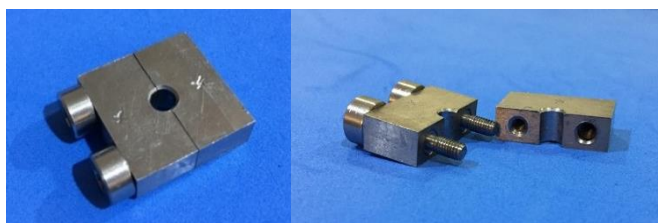
เตรียมชิ้นซีเมนต์ทดสอบรูปทรงกระบอกโดยทำการผสมซีเมนต์แล้วใส่ลงในแม่พิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร กลุ่มละ 5 ชิ้น ตามมาตรฐาน ISO 9917 ใช้อุปกรณ์กดอัดแม่พิมพ์เพื่อไล่ฟองอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นซีเมนต์ตัวอย่างทำการแช่ในน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm incubator digital series; Contherm Scientific Ltd, New Zealand) 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 23 ชั่วโมง

นำชิ้นซีเมนต์ตัวอย่างวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยอุปกรณ์วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (digital caliper, Mitutoyo Co., Japan) ก่อนทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของชิ้นซีเมนต์ตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (Universal testing machine รุ่น LR10K, LLOYD Instruments, England) ความเร็วหัวกดเป็น 0.75 มิลลิเมตรต่อวินาที ขนาดโหลดเซลล์ 10 กิโลนิวตัน (10 kN load cell) ตามมาตรฐาน ISO 9917 และคำนวณกำลังอัดดังนี้

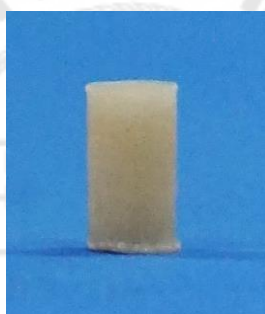
$C = 4p/\pi d^2$ โดย

p = แรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานแตก (นิวตัน)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบ 9 แม่พิมพ์โลหะที่ใช้เตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกดอัด



ภาพประกอบ 10 ชิ้นซีเมนต์ทดสอบความแข็งแรงกดอัดที่ได้จากการเตรียมในแม่พิมพ์โลหะ
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 11 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด

(Universal testing machine รุ่น LR10K, LLOYD Instruments, England)

3.4.4 การประเมินคุณสมบัติการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ (Acid erosion)

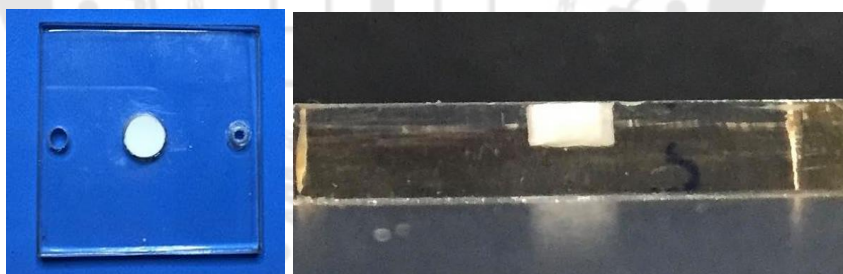
เตรียมแผ่นพลาสติก (PMMA plate) ขนาด $30 \times 30 \times 5$ มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น (ทดสอบกลุ่มละ 5 ชิ้น ตามมาตรฐาน ISO 9917) เจาะรูตรงกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร ผสมซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบใส่ในรูของแผ่นพลาสติกที่เตรียมไว้ วัดความสูงของชิ้นซีเมนต์ภายในแผ่นพลาสติก แช่ในสารละลายกรดแลคติก (lactic acid) 8.27 กรัม และโซเดียมแลคเตต (Sodium lactate) 0.92 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร (วัดค่า pH หลังผสมสารละลายเป็น 2.74 ± 0.02) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปิดฝาด้านบนเพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการวัดความสูงของซีเมนต์อีกครั้ง และคำนวณค่าการละลายตัวในกรด ดังนี้

$$D = D_t - D_0 \quad \text{โดย}$$

D = ระยะการละลายตัวด้วยกรด (มิลลิเมตร)

D_0 = ความสูงบริเวณกึ่งกลางของซีเมนต์ก่อนแช่ในสารละลายกรด (มิลลิเมตร)

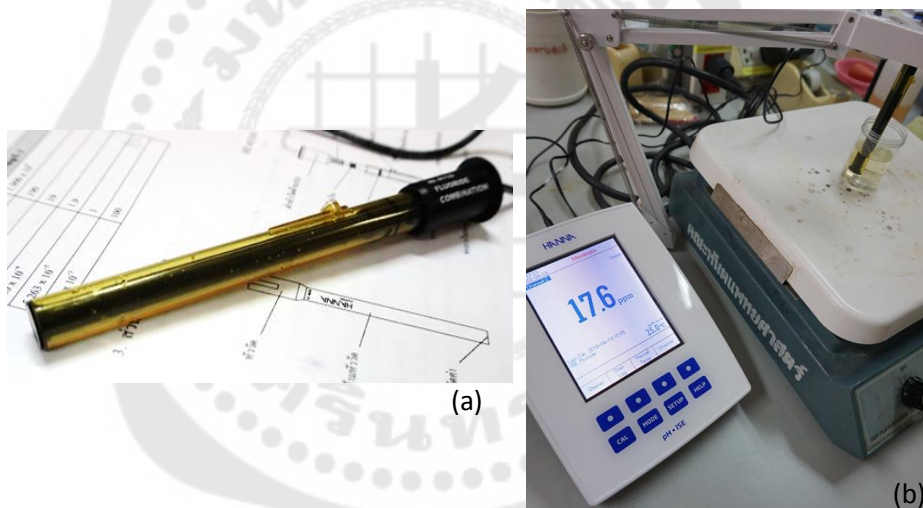
D_t = ความสูงบริเวณกึ่งกลางของซีเมนต์หลังแช่ในสารละลายกรด (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบ 12 แผ่นพลาสติกเจาะรูเพื่อใส่ซีเมนต์ทดสอบค่าการละลายตัวในกรด

3.4.5 การประเมินคุณสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)

เตรียมชิ้นซีเมนต์ตัวอย่างให้ได้ขนาดชิ้นทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร (ขนาดชิ้นงานเท่ากับการทดสอบแรงกดอัด) กลุ่มละ 5 ชิ้น และนำชิ้นงานทดสอบแช่ในน้ำที่ปราศจากไอออนเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm incubator digital series; Contherm Scientific Ltd, New Zealand) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 24, 48, 72 ชั่วโมงและ 7 วัน นำน้ำปราศจากไอออนที่แช่ชิ้นซีเมนต์ในช่วงเวลาดังกล่าวมาทำการวัดปริมาณฟลูออไรด์ (ppm) ด้วยหัววัดฟลูออไรด์แบบหัววัดรวม (HI-4110 HANNA FLUORIDE COMBINATION ION SELECTIVE ELECTRODE (ISE) HANNA instruments, UK) และ เครื่องวัดฟลูออไรด์ (HI-5222-02 Research Grade pH/ORP/ISE/Temperature Meter, HANNA instruments, UK)



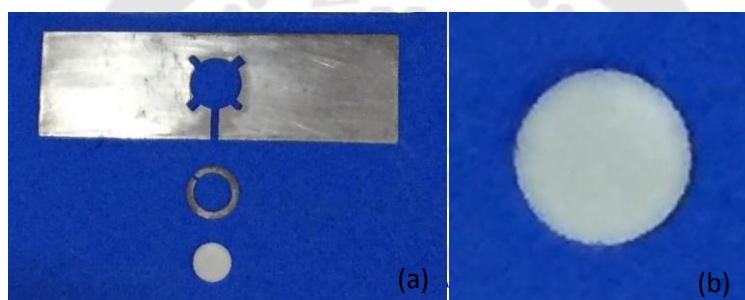
ภาพประกอบ 13 อุปกรณ์วัดปริมาณฟลูออไรด์

(a) หัววัดฟลูออไรด์แบบหัววัดรวม (HI-4110 HANNA FLUORIDE COMBINATION ION SELECTIVE ELECTRODE (ISE) HANNA instruments, UK)

(b) เครื่องวัดฟลูออไรด์ (HI-5222-02 Research Grade pH/ORP/ISE/Temperature Meter, HANNA instruments, UK)

3.4.6 การประเมินคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ (Opacity)

วิธีการประเมินความทึบแสงของเนื้อซีเมนต์ โดยการเตรียมชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และมีความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้นในแต่ละกลุ่มการทดลอง เมื่อซีเมนต์ก่อตัวในระยะแรก แกะชิ้นงานออกจากแบบ เก็บชิ้นงานภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นทรงกลมของซีเมนต์ เข้าเครื่องวัดแสงสี (Spectrophotometer, UltraScan PRO, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA) ประเมินระดับความทึบแสง โดยใช้พื้นหลังสีดำและสีขาว เพื่อวัดอัตราส่วนความแตกต่าง (Contrast ratio) ระหว่างพื้นหลังทั้งสองชนิด เพื่อกำหนดเป็นระดับความทึบแสงของซีเมนต์



ภาพประกอบ 14 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์

(a) แม่พิมพ์โลหะที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

(b) ชิ้นซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และมีความหนา 1 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 15 เครื่องวัดแสงสี

(Spectrophotometer, UltraScan PRO, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนผงของซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการกับส่วนเหลวของซีเมนต์ทางการค้า และคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลของอัตราส่วนซีเมนต์ที่เหมาะสมจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ใช้การวิเคราะห์และสรุปความ ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้สถิติการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปรมากกว่า 2 กลุ่ม ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของซีเมนต์และคุณสมบัติต่างๆ โดยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 24

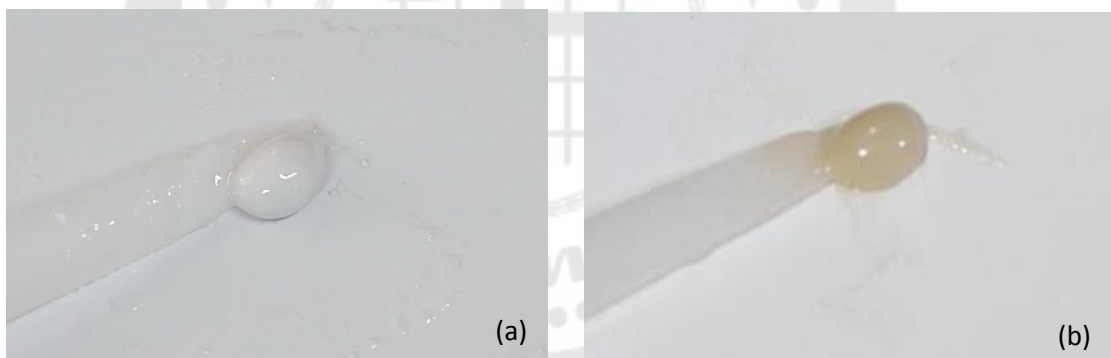


บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 อัตราส่วนระหว่างส่วนผงของซีเมนต์ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและส่วนน้ำของซีเมนต์ในกลุ่มวัสดุอุดฟัน (Filling)

ในการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างส่วนผงของซีเมนต์ชนิด A-D ที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ และส่วนน้ำของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (FujilIX HS Posterior EXTRA, GC Corp., Japan) กำหนดอัตราส่วนของซีเมนต์แบ่งเป็น 6 กลุ่มตามน้ำหนักของส่วนน้ำ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของการผสมซีเมนต์ คือ อัตราส่วนผงต่อน้ำเป็น 1.42:1 โดยซีเมนต์จากการผสมด้วยอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าส่วนผงกับส่วนน้ำสามารถผสมเข้ากันได้ทั้งหมด ไม่มีส่วนผงเหลือ ผิวซีเมนต์มีลักษณะมันวาว เป็นแป้งปั้นได้ (Pliable mass) มีความเหนียว ยืดหยุ่น (Dough) ไม่เหลวจนเกินไป มีคุณสมบัติสามารถกดอัดได้ ดังแสดงในภาพประกอบที่



ภาพประกอบ 16 ลักษณะซีเมนต์ภายหลังการผสม

- (a) ซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อผสมกับส่วนน้ำในอัตราส่วน ผง: น้ำ (กรัม) 1.42:1
(b) ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมที่ผสมตามอัตราส่วนที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ (กรัม) (3.4:1)

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ทางทันตกรรม

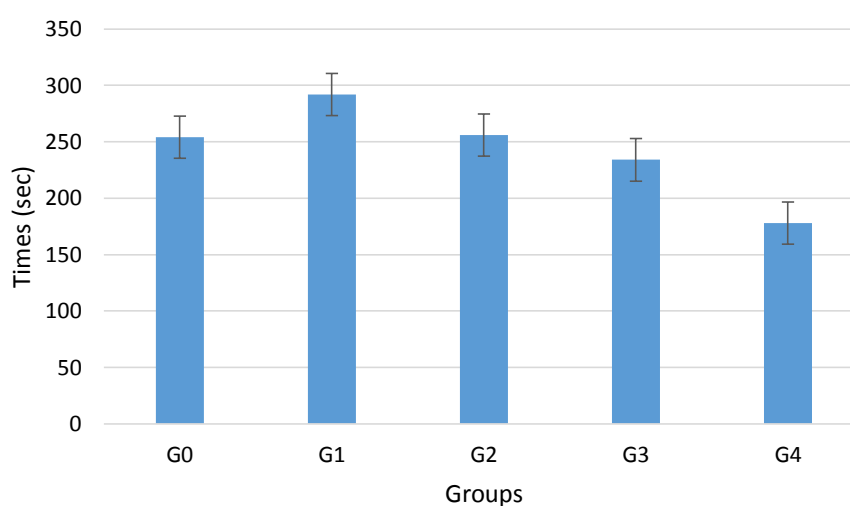
4.2.1 ระยะก่อตัวของซีเมนต์ (setting time)

จากการทดลองพบว่าซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นมีระยะเวลาการก่อตัวที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม โดยซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 มีค่าเฉลี่ยระยะก่อตัวที่ 292 256 234 และ 178 วินาทีตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (FujilIX HS Posterior EXTRA, GC

Corp., Japan, G_0) ซึ่งมีค่าระยะเวลาการก่อตัวเฉลี่ย 254 วินาที โดยพบว่าซีเมนต์ G_1 ใช้ระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์มากที่สุด ส่วนในซีเมนต์ G_4 ใช้ระยะเวลาในการก่อตัวน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าซีเมนต์ทุกชนิดมีค่าระยะเวลาการก่อตัวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$) ยกเว้นในซีเมนต์ G_2 และซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.98$)

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

ซีเมนต์	ระยะเวลาการก่อตัว (วินาที)
G_0	254 ± 5.48^a
G_1	292 ± 8.37^b
G_2	256 ± 5.48^a
G_3	234 ± 5.48^c
G_4	178 ± 4.47^d



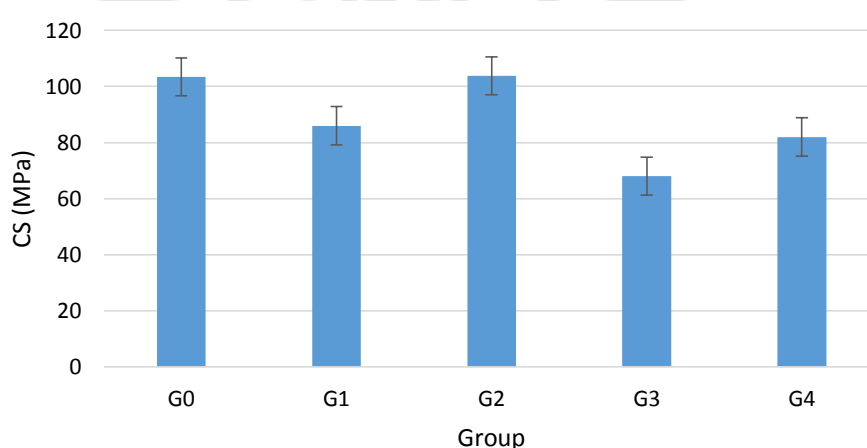
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม

4.2.2 การประเมินความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength)

การประเมินค่าความแข็งแรงกดอัด ได้ทำการประเมินภายหลังการก่อตัวโดยสมบูรณ์ของซีเมนต์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าซีเมนต์ในกลุ่ม G_2 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดอัดมากที่สุด (103.73 เมกะปาสคาล) รองลงมาคือกลุ่ม G_1 (86.36 เมกะปาสคาล) กลุ่ม G_4 (82.12 เมกะปาสคาล) และกลุ่ม G_3 (68.71 เมกะปาสคาล) ตามลำดับ โดยพบว่าซีเมนต์กลุ่ม G_1 และ G_4 มีความแข็งแรงกดอัดที่ไม่แตกต่างกัน ($p = 0.148$) และเมื่อเปรียบเทียบกับกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) พบว่ากลุ่มซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงกดอัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือซีเมนต์ชนิด G_2 ($p = 0.99$)

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงกดอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

ซีเมนต์	ค่าความแข็งแรงกดอัด (เมกะปาสคาล)
G_0	103.35 ± 0.52^a
G_1	86.36 ± 2.72^d
G_2	103.73 ± 1.72^a
G_3	68.71 ± 3.32^c
G_4	82.12 ± 2.17^d



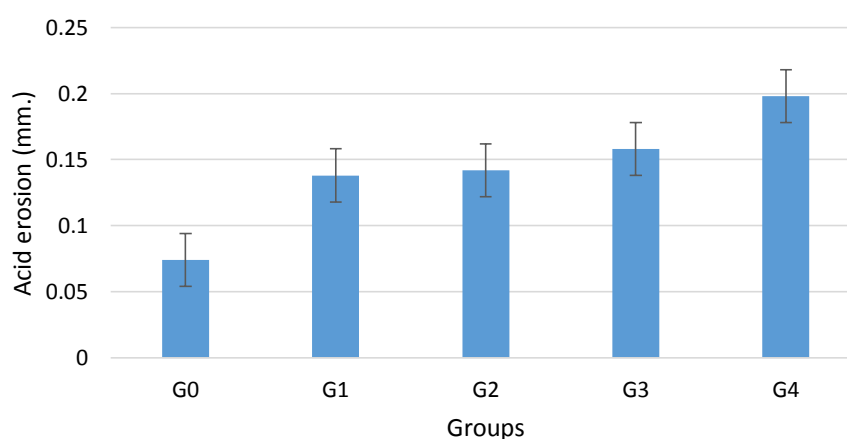
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงกดอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม

4.2.3 การประเมินคุณสมบัติการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ (Acid erosion)

การประเมินการละลายตัวในกรด พบว่าซีเมนต์ที่มีค่าการละลายตัวต่ำที่สุดคือซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) ค่าเฉลี่ยเป็น 0.074 มิลลิเมตร แตกต่างจากซีเมนต์ทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.00$) และซีเมนต์ที่มีการละลายตัวในกรดสูงที่สุดคือซีเมนต์กลุ่ม G_4 โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.198 มิลลิเมตร แตกต่างจากซีเมนต์ทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.00$) และซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_3 มีค่าการละลายตัวในกรดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p = 0.12$ - 0.98)

ตาราง 9 ค่าการละลายตัวของซีเมนต์แต่ละกลุ่มในกรดแลคติกที่เวลา 24 ชั่วโมง

ซีเมนต์	การละลายตัวของซีเมนต์ (มิลลิเมตร)
G_0	0.074 ± 0.002^a
G_1	0.138 ± 0.013^b
G_2	0.142 ± 0.015^b
G_3	0.158 ± 0.008^b
G_4	0.198 ± 0.018^c



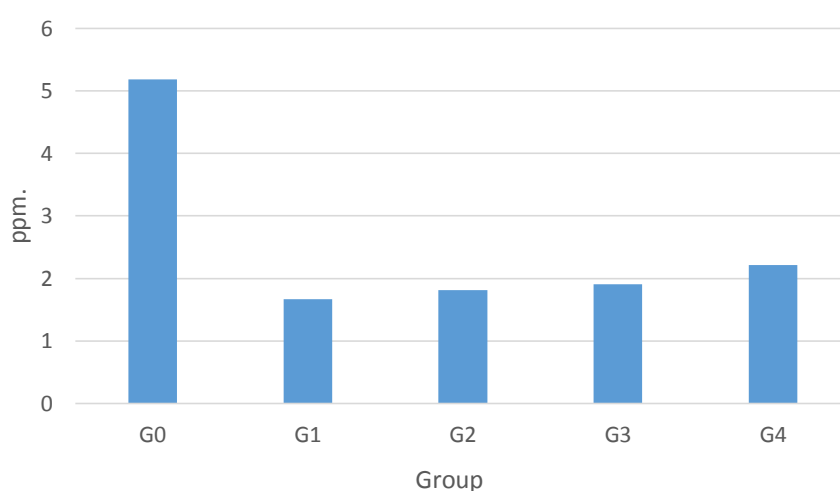
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงค่าการละลายตัวในกรดแลคติกของซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม

4.2.4 การประเมินคุณสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Fluoride release)

ในการทดสอบการปลดปล่อยปริมาณฟลูออไรด์จากซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม ที่เวลา 6 ชั่วโมง พบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด คือ 5.194 ppm และซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุด คือซีเมนต์กลุ่ม G_1 คือ 1.672 ppm โดยค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่ม ที่เวลา 6 ชั่วโมง

ซีเมนต์	ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์(ppm.)
G_0	5.194 ± 0.36^a
G_1	1.672 ± 0.058^b
G_2	1.812 ± 0.058^b
G_3	$1.910 \pm 0.04^{b,c}$
G_4	2.210 ± 0.17^c

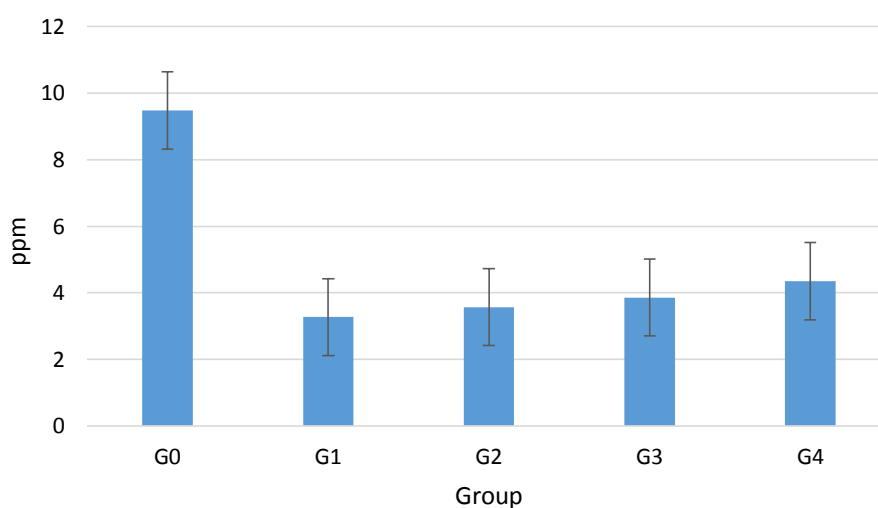


ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 6 ชั่วโมง

การปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด คือ 9.48 ppm และซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุด คือซีเมนต์กลุ่ม G_1 มีค่าเป็น 3.24 ppm โดยค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์ชนิด G_1 - G_4 มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 24 ชั่วโมง

ซีเมนต์	ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์(ppm.)
G_0	9.480 ± 0.94^a
G_1	3.274 ± 0.09^b
G_2	$3.576 \pm 0.12^{b,c}$
G_3	$3.860 \pm 0.17^{b,c}$
G_4	4.350 ± 0.94^c

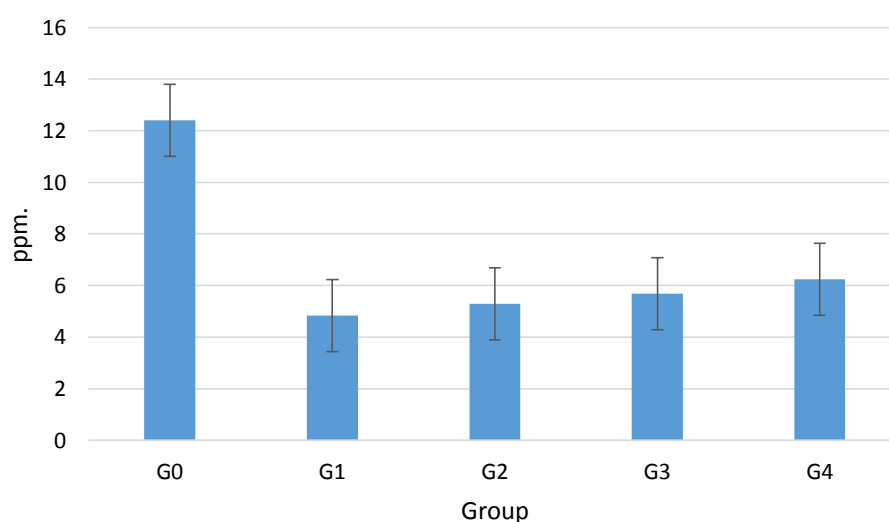


ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 24 ชั่วโมง

การปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงพบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด คือ 12.414 ppm และซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุด คือซีเมนต์กลุ่ม G_1 มีค่าเป็น 4.844 ppm โดยค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 48 ชั่วโมง

ซีเมนต์	ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์(ppm.)
G_0	12.414 ± 1.54^a
G_1	4.844 ± 0.19^b
G_2	$5.292 \pm 0.17^{b,c}$
G_3	$5.680 \pm 0.21^{b,c}$
G_4	6.238 ± 0.24^c

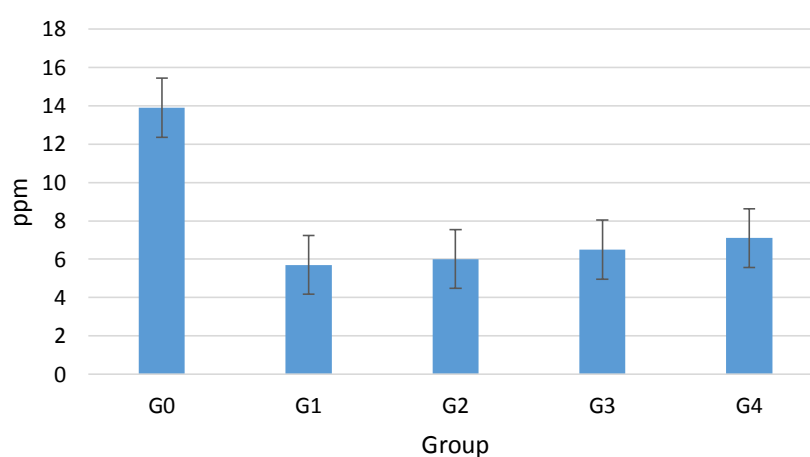


ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 48 ชั่วโมง

การปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมงพบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด คือ 13.994 ppm และซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุด คือซีเมนต์กลุ่ม G_1 มีค่าเป็น 5.698 ppm โดยค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 13 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 72 ชั่วโมง

ซีเมนต์	ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์(ppm.)
G_0	13.994 ± 1.39^a
G_1	5.698 ± 0.23^b
G_2	$6.080 \pm 0.20^{b,c}$
G_3	$6.562 \pm 0.22^{b,c}$
G_4	7.148 ± 0.19^c

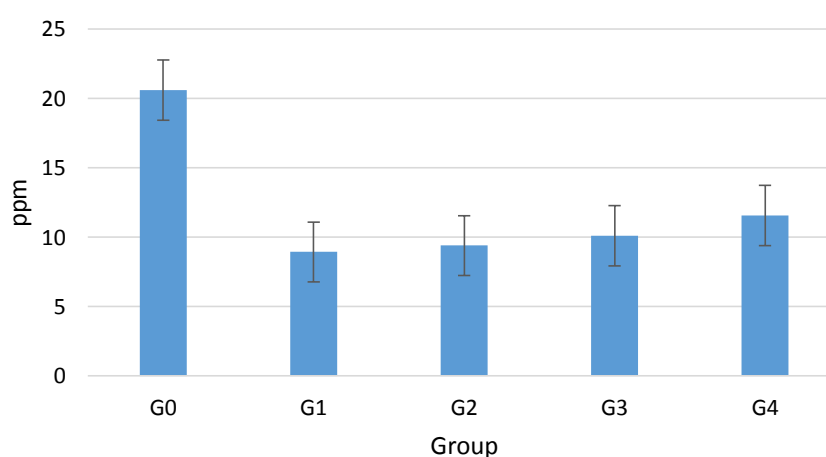


ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 72 ชั่วโมง

การปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 7 วัน พบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด คือ 20.608 ppm และซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุด คือซีเมนต์กลุ่ม G_1 มีค่าเป็น 8.940 ppm โดยค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์ชนิด G_1 - G_4 มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ทุกกลุ่มที่เวลา 7 วัน

ซีเมนต์	ปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์(ppm.)
G_0	20.608 ± 1.76^a
G_1	8.940 ± 0.30^b
G_2	9.408 ± 0.58^b
G_3	$10.168 \pm 0.20^{b,c}$
G_4	11.586 ± 0.42^c

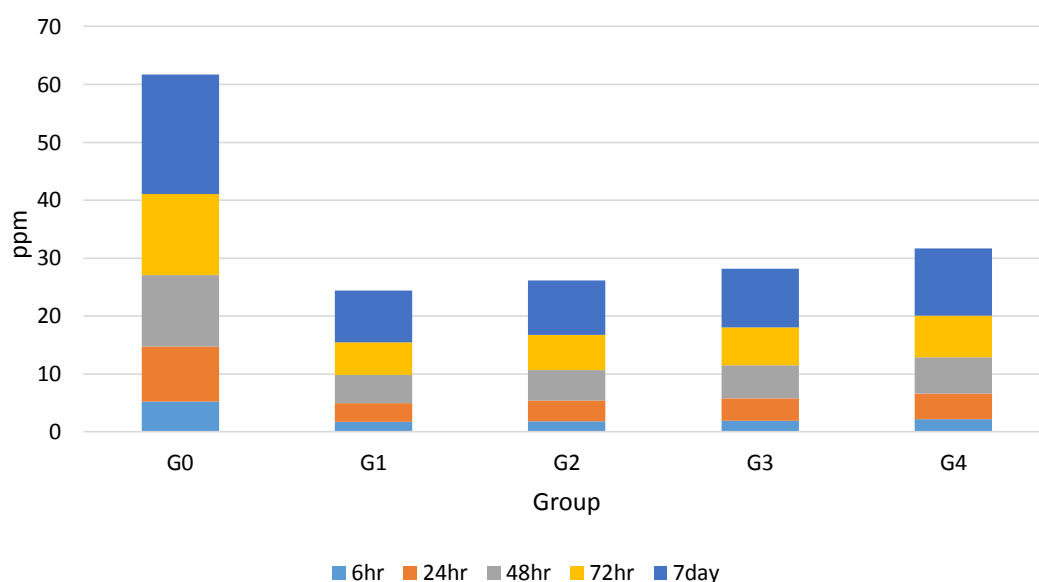


ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่เวลา 7 วัน

ค่าเฉลี่ยปริมาณฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมงจนถึง 7 วันพบว่า ชนิดซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมามากที่สุด ได้แก่ ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) โดยที่ระยะเวลา 7 วันพบว่าปริมาณฟลูออไรด์สะสมเป็น 20.608 ppm. และชนิดซีเมนต์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาน้อยที่สุดได้แก่ ซีเมนต์ชนิด G_1 โดยมีปริมาณฟลูออไรด์สะสมเป็น 8.94 ppm.

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลาต่างๆ

ค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (ppm)					
ระยะเวลา	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4
6 ชั่วโมง	5.194	1.672	1.812	1.91	2.21
24 ชั่วโมง	9.484	3.274	3.576	3.86	4.35
48 ชั่วโมง	12.414	4.844	5.292	5.68	6.328
72 ชั่วโมง	13.994	5.698	6.08	6.562	7.148
7 วัน	20.608	8.94	9.408	10.168	11.586



ภาพประกอบ 25 ปริมาณฟลูออไรด์สะสมที่ระยะเวลา 7 วันของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

4.2.5 การประเมินคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ (Optical properties)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวัดแสงสี (Spectrophotometer) โดยค่าที่ได้จากเครื่องจะแสดงออกมาในรูปของค่า $*L$, $*a$, $*b$ และค่า opacity ดังนี้

$*L$ หมายถึงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

$*a$ หมายถึงแกนสีเขียว-แดง โดยค่า $-a^*$ คือ สีเขียว จนถึง สีแดง คือ $+a^*$

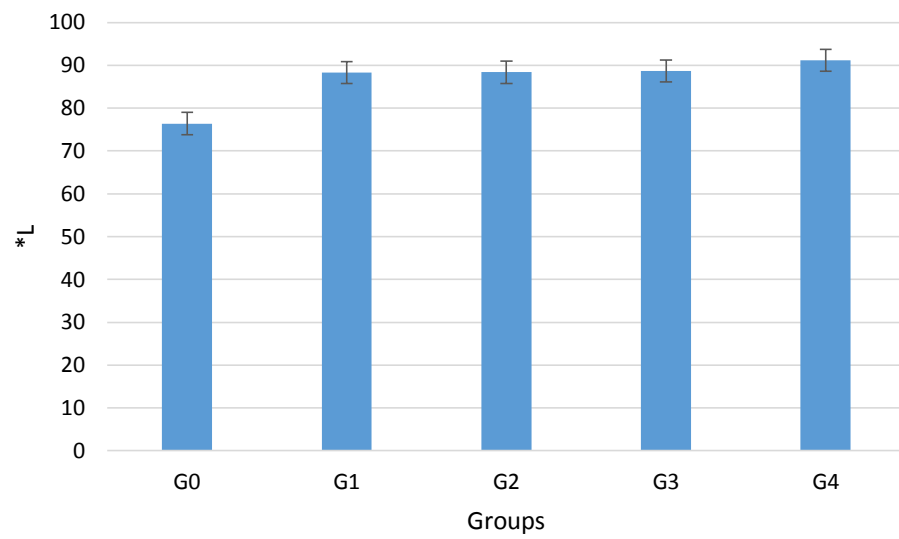
$*b$ หมายถึงแกนสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่า $-b^*$ คือ สีน้ำเงิน จนถึง สีเหลือง คือ $+b^*$ และค่า opacity หมายถึง ความสามารถในการผ่านของแสง โดยมีค่าดังนี้

ค่า $*L$

ค่าความสว่างของซีเมนต์ชนิด G_1 - G_4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.28 88.40 88.65 และ 91.14 ตามลำดับ ในขณะที่ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีค่าความสว่างเป็น 76.40 ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมมีความแตกต่างจากซีเมนต์ทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.00$)

ตาราง 16 ค่าเฉลี่ยความสว่างของซีเมนต์ ($*L$) แต่ละชนิด

ซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยความสว่างของซีเมนต์ ($*L$)
G_0	76.40 ± 0.35^a
G_1	88.28 ± 0.45^b
G_2	88.405 ± 0.26^b
G_3	88.65 ± 0.89^b
G_4	91.14 ± 0.49^b



ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงค่าความสว่างของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

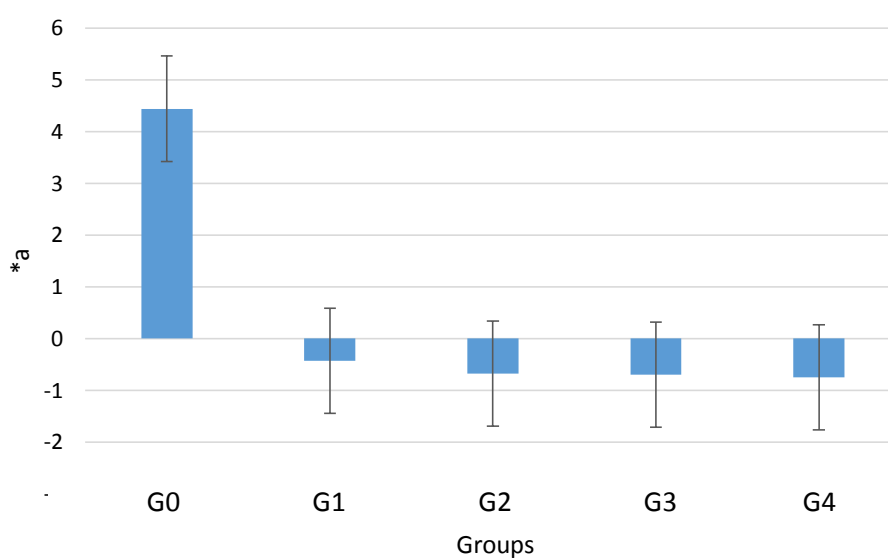


ค่า *a

ค่าแกนสีจากสีเขียวถึงสีแดง ของซีเมนต์ทุกชนิดพบว่าซีเมนต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลุ่ม G_1 - G_4 มีค่าเฉลี่ย -0.43, -0.68, -0.70 และ -0.75 ซึ่งมีค่าติดลบทั้งหมด ซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่มจึงอยู่ในแกนสีเขียว ในขณะที่ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีค่า 4.44 ซึ่งมีค่าเป็นบวก อยู่ในแกนสีแดง

ตาราง 17 ค่าเฉลี่ยของแกนสีเขียวถึงสีแดง (*a) ในซีเมนต์ แต่ละกลุ่ม

ซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยความสว่างของซีเมนต์ (*a)
G_0	4.44 ± 0.18^a
G_1	-0.43 ± 0.05^b
G_2	-0.68 ± 0.05^c
G_3	-0.70 ± 0.005^d
G_4	-0.75 ± 0.05^d



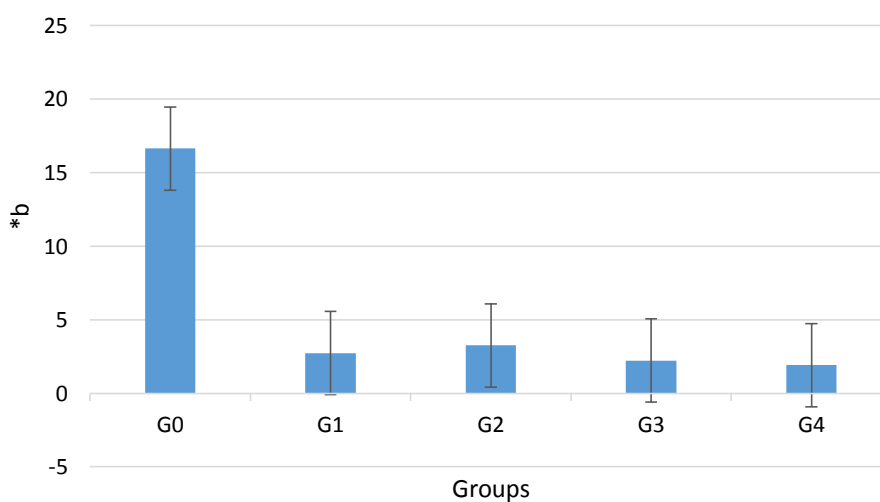
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงค่าแกนสีจากสีเขียวถึงสีแดงของซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

ค่า *b

ค่าแกนสีจากสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง พบว่าซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม มีค่าเป็นบวกซึ่งแสดงถึงซีเมนต์ทุกชนิดอยู่ในแกนสีเหลือง โดยพบว่าค่า *b ของซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีความแตกต่างจากซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 อย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 18 ค่าเฉลี่ยของแกนสีน้ำเงินถึงสีเหลือง (*b) ในซีเมนต์ แต่ละกลุ่ม

ซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยความสว่างของซีเมนต์ (*b)
G_0	16.64 ± 0.50^a
G_1	$2.73 \pm 0.19^{b,c}$
G_2	3.25 ± 0.19^c
G_3	2.23 ± 0.03^b
G_4	1.92 ± 0.19^b



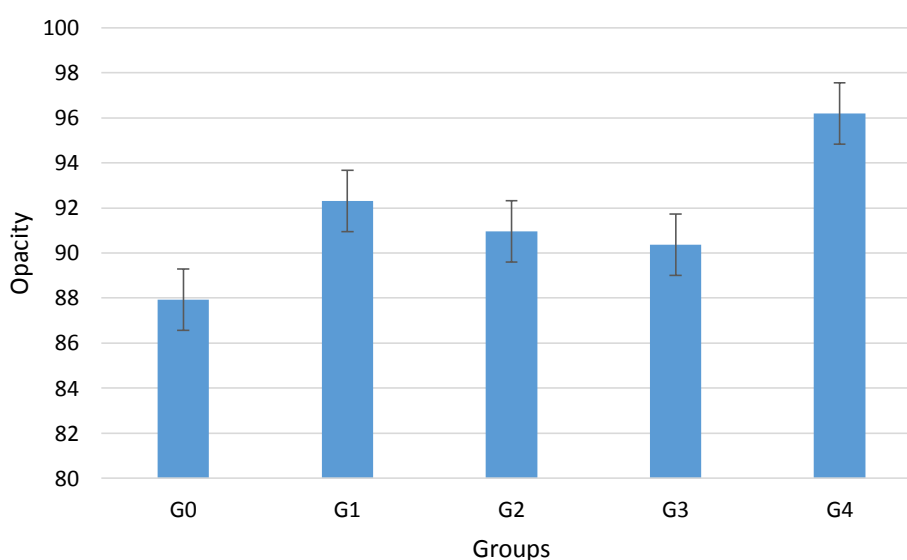
ภาพประกอบ 28 ค่าแกนสีจากสีน้ำเงินจนถึงสีเหลืองของซีเมนต์ทุกกลุ่ม

ค่า opacity

ค่าความสามารถในการผ่านของแสงของซีเมนต์ มีค่าเฉลี่ย 92.3, 90.95, 90.37, 96.2 ในซีเมนต์กลุ่ม G_1 - G_4 ตามลำดับ และในซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีค่า 87.92 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมมีค่าความสามารถในการผ่านของแสงที่ไม่แตกต่างจากซีเมนต์กลุ่ม G_1 , G_2 และ G_3 ($p=0.09-0.57$) และซีเมนต์กลุ่ม G_1 และ G_4 มีค่าความสามารถในการผ่านของแสงที่ไม่แตกต่างกัน ($p=0.16$)

ตาราง 19 ค่าเฉลี่ยค่าความสามารถในการผ่านของแสงในซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

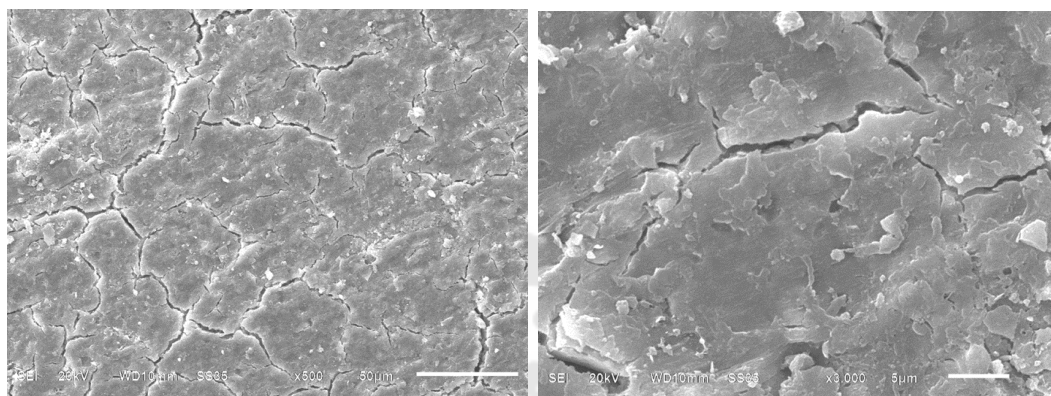
ซีเมนต์	ค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการผ่านของแสง
G_0	87.925 ± 1.33^a
G_1	92.3 ± 3.30^b
G_2	90.95 ± 2.58^b
G_3	90.375 ± 0.85^b
G_4	96.2 ± 0.142^c



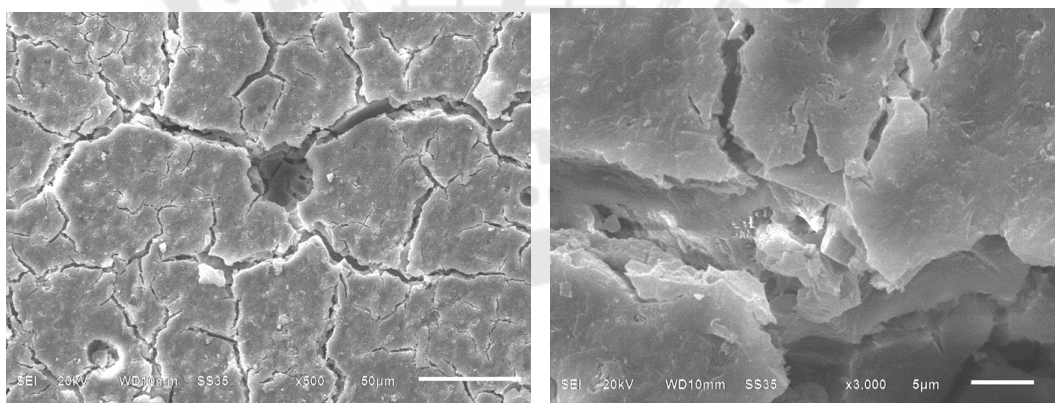
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสามารถในการผ่านของแสงในซีเมนต์แต่ละกลุ่ม

4.2.6 การประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว

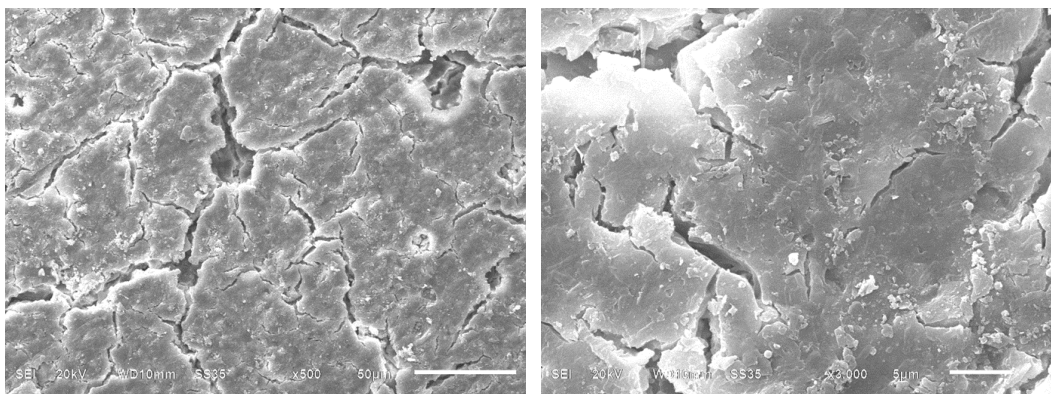
จากการประเมินพื้นผิวของซีเมนต์ทั้ง 5 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 500 เท่าและ 3000 เท่า ผลเป็นดังนี้



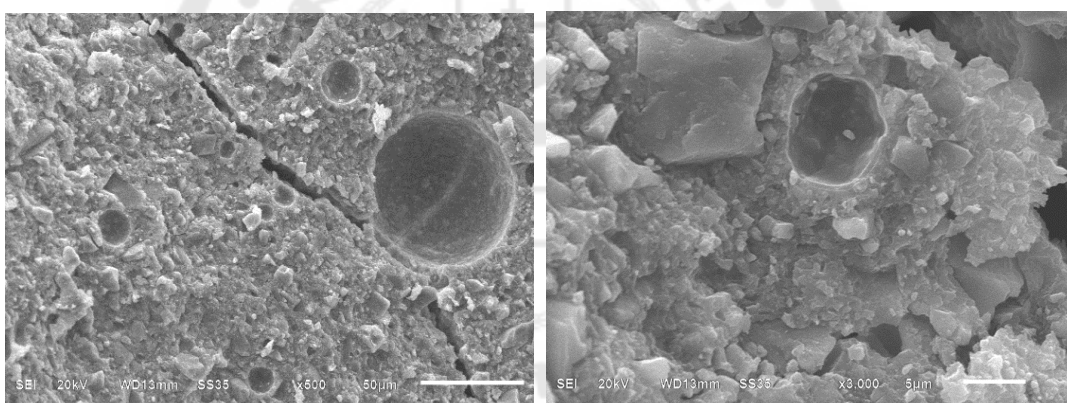
ภาพประกอบ 30 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_1 ภายหลังการก่อตัว
(ซ้าย) กำลังขยาย 500 เท่า (ขวา) กำลังขยาย 3000 เท่า



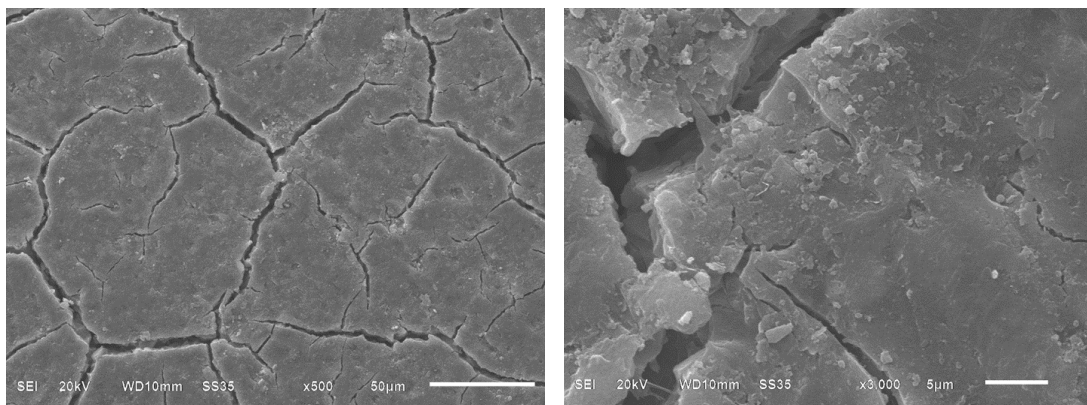
ภาพประกอบ 31 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_2 ภายหลังการก่อตัว
(ซ้าย) กำลังขยาย 500 เท่า (ขวา) กำลังขยาย 3000 เท่า



ภาพประกอบ 32 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_3 ภายหลังการก่อตัว
(ซ้าย) กำลังขยาย 500 เท่า (ขวา) กำลังขยาย 3000 เท่า



ภาพประกอบ 33 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์กลุ่ม G_4 ภายหลังการก่อตัว
(ซ้าย) กำลังขยาย 500 เท่า (ขวา) กำลังขยาย 3000 เท่า



ภาพประกอบ 34 ผลการทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) ภายหลังการก่อตัว (ซ้าย) กำลังขยาย 500 เท่า (ขวา) กำลังขยาย 3000 เท่า

การทดสอบพื้นผิวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัวทั้ง 5 กลุ่มพบว่า ลักษณะพื้นผิวของซีเมนต์ในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน โดยในกำลังขยายต่ำ (500 เท่า) แสดงให้เห็นรอยแตกกว้างในซีเมนต์ทุกกลุ่ม และมีรูขนาดเล็กกระจายอยู่โดยรอบพื้นผิวซีเมนต์ โดยในซีเมนต์กลุ่ม G_4 ลักษณะของรูมีความกว้าง มีจำนวนมากกว่าซีเมนต์ทุกกลุ่ม ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระมากเมื่อเทียบกับซีเมนต์กลุ่มอื่นๆ โดยอาจเป็นเพราะซีเมนต์ในกลุ่มนี้มีปริมาณซิลิกาสูงกว่าซีเมนต์กลุ่มอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว ในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (G_0) มีลักษณะพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ผลักอัดตัวอย่างหนาแน่นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์กลุ่มอื่นๆ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวที่ขรุขระ พบจุดสีขาวสว่างกระจายโดยทั่วไปบนพื้นซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรอยแตกซึ่งเป็นอนุภาคของผงแก้วที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาภายในเนื้อเมทริกซ์ของซีเมนต์ ซึ่งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้ามีอนุภาคของผงแก้วที่ไม่ทำปฏิกิริยาน้อยกว่าซีเมนต์กลุ่มอื่นๆ โดยกลาสไอโอเมอร์ซีเมนต์ที่สังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการมีลักษณะใกล้เคียงกับการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ของ Edward และคณะ^[46]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ที่ได้ทำการสังเคราะห์ส่วนผงขึ้นในห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชนิด (A-D) โดยแตกต่างกันตามอัตราส่วนระหว่าง อลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ เลือกส่วนน้ำของกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้า ชนิดดั้งเดิม (Fujilix) เป็นส่วนผสม และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลกับซีเมนต์ชนิดนี้เนื่องจากเป็นกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม (Conventional) ในกลุ่มวัสดุบูรณะฟัน โดยคุณสมบัติในด้านการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์พบว่าเวลาในการก่อตัวของกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ชนิด A-D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ชนิด B และซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้มาตรฐาน ISO 9917-1 ได้มีการกำหนดให้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในรูปแบบวัสดุอุดฟัน ควรมีระยะเวลาในการก่อตัว 1.5-6 นาที โดยกลาสไอโอโนเมอร์ชนิด A-D มีระยะเวลาก่อตัวตามที่มาตรฐาน ISO กำหนด โดยชนิด A มีระยะเวลาก่อตัวเฉลี่ย 4.52 นาที ชนิด B มีระยะเวลาก่อตัวเฉลี่ย 4.16 นาที ชนิด C มีระยะเวลาก่อตัวเฉลี่ย 3.54 นาที และชนิด D มีระยะเวลาก่อตัวเฉลี่ย 2.58 นาที ส่วนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมมีระยะเวลาก่อตัวเฉลี่ย 4.14 นาที โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวในกลาสไอโอโนเมอร์นี้ ได้แก่ อัตราส่วนของสารประกอบภายในผงแก้ว จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของซีเมนต์และระยะเวลาก่อตัว มีค่าสหสัมพันธ์ (r) เป็น 0.96 (ตารางที่ 22) ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับกันสูงมาก^[47] แปลผลได้ว่า ยิ่งอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มากขึ้น ยิ่งทำให้ระยะการก่อตัวนานขึ้น โดยจากการศึกษาของ Alan Wilson ที่ผ่านมาพบว่า ผงแก้วของซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนของซิลิกาสูง จะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ ที่ซีเมนต์ชนิด D ที่มีอัตราส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์มากที่สุด พบว่ามีระยะเวลาก่อตัวสั้นที่สุด และซีเมนต์ชนิด A ที่มีอัตราส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์น้อยที่สุดมีระยะก่อตัวนานที่สุด โดยผงแก้วที่มีอัตราส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้เร็วกว่า จะทำให้ลดระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์^[11] นอกจากอัตราส่วนของสารประกอบในผงแก้วที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวแล้ว อัตราส่วนระหว่างส่วนผงและน้ำก็มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัว

ของซีเมนต์ โดยซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนระหว่างส่วนผงและส่วนน้ำต่ำจะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวได้รวดเร็วกว่าซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนระหว่างส่วนผงและส่วนน้ำสูงกว่า^[48] และอีกปัจจัยหนึ่งคือระยะเวลาในการผสมซีเมนต์ โดยซีเมนต์มีระยะเวลาในการผสมนาน จะลดระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ นอกจากนี้ อุณหภูมิขณะผสมก็มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัว โดยอุณหภูมิต่ำจะลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ทำให้มีระยะเวลาการก่อตัวที่นานขึ้น^[49]

5.1.2 ค่าความแข็งแรงกดอัด

ค่าความแข็งแรงกดอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทดสอบตามวิธีการของมาตรฐาน ISO 9917-1 ซึ่งกำหนดให้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในกลุ่มวัสดุอุดฟันต้องมีค่าความแข็งแรงกดอัดไม่น้อยกว่า 100 เมกะปาสคาล พบว่าในซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงกดอัดสูงกว่ามาตรฐานดังกล่าว ได้แก่ ซีเมนต์ชนิด B ซึ่งมีค่าความแข็งแรงกดอัดเฉลี่ย 103.73 เมกะปาสคาล และ ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมซึ่งมีค่าความแข็งแรงกดอัดเฉลี่ย 103.35 เมกะปาสคาล จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ และค่าความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์มีค่าเป็น 0.481 (ตารางที่ 23) ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ แปลผลได้ว่าอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ ไม่ค่อยมีผลต่อความแข็งแรงของซีเมนต์ที่ก่อตัวแล้ว

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์นี้มาจากปริมาณอลูมิเนียมที่อยู่ในผงแก้ว โดยปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ซีเมนต์มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ทั้งนี้อัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ก็ต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากันได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์นี้มาจากปริมาณอลูมิเนียมที่ออกไซด์อยู่ในผงแก้ว โดยปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ซีเมนต์มีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ภายในผงแก้วที่มีผลต่อความแข็งแรงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างส่วนผงกับส่วนน้ำที่ทำปฏิกิริยากันได้สมบูรณ์ด้วย^[11] ดังนั้นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด B ที่มีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์น้อยกว่าชนิด A จึงมีความแข็งแรงมากกว่า นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นที่ส่งผลต่อความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์แล้ว ยังพบว่าความเข้มข้นของกรดในส่วนน้ำของซีเมนต์ก็ส่งผลต่อความแข็งแรงกดอัดด้วย โดยความเข้มข้นของกรดที่มากขึ้น จะทำให้ซีเมนต์มีความแข็งแรงกดอัดลดลง^[50] และระยะเวลาในการแช่ซีเมนต์ที่นานขึ้นจะส่งผลให้ซีเมนต์มีความแข็งแรงกดอัดลดลง^[51, 52]

5.1.3 ค่าการละลายตัวในกรด

ค่าการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ พบว่าปริมาณการละลายตัวของซีเมนต์เรียงลำดับจากการละลายตัวมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ ซีเมนต์ชนิด D, ซีเมนต์ชนิด C, ซีเมนต์ชนิด B, ซีเมนต์ชนิด A และซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมทั้งนี้มาตรฐาน ISO 9917-1 ได้กำหนดให้ค่าการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ประเภทวัสดุอุดฟัน ต้องมีค่าไม่เกิน 0.17 มิลลิเมตร ซึ่งถึงแม้ว่าซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการจะมีค่าการละลายตัวที่สูงกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า แต่พบว่าค่าการละลายตัวในกรดอยู่ในค่ามาตรฐาน ISO 9917-1 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ และค่าการละลายตัวของซีเมนต์มีค่าเป็น -0.615 (ตารางที่ 24) ซึ่งแปลผลว่า มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง โดยค่าที่เป็นลบแสดงถึงการมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน หมายความว่ายิ่งอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มากขึ้น จะทำให้ค่าการละลายตัวของซีเมนต์ลดลง โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการละลายตัวในกรดของซีเมนต์นอกจากอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการแช่ ระยะเวลา และกลไกในการละลายตัวของซีเมนต์ โดยไอออนจากกรดก็จะกระตุ้นให้เกิดการละลายตัวของซิลิกอนไดออกไซด์จากโครงข่ายของแก้ว เกิดเป็นการละลายตัวในสารละลายกรด^[53] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยซีเมนต์ชนิด A-D ที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณการละลายตัวในกรดมีความแตกต่างกัน โดยซีเมนต์ชนิด D มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ในส่วนประกอบผงแก้วมากที่สุด จึงทำให้เกิดการละลายตัวมากที่สุด

5.1.4 การปลดปล่อยฟลูออไรด์

ผลการศึกษาการปลดปล่อยฟลูออไรด์ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟลูออไรด์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดของชิ้นตัวอย่าง คุณภาพและปริมาณสารตัวกลางที่ใช้ในการวัดปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากชิ้นตัวอย่าง รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการวัดปริมาณฟลูออไรด์^[54-56] โดยผลการปลดปล่อยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ารูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด A-D มีค่าสูงในระยะแรก (Burst effect) และปลดปล่อยในปริมาณต่ำอย่างต่อเนื่องในเวลาถัดมา โดยในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรก ซีเมนต์ชนิด A-D มีปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ดังนี้ 3.274 3.576 3.86 4.35 และ 9.484 ppm.ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด FujilX และการศึกษาของ Tay และ Braden^[57] โดยปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาในระยะแรกที่มีปริมาณสูงมาจากปฏิกิริยาการก่อตัวของซีเมนต์ที่มีการละลาย

ตัวของอนุภาคแก้วต่อส่วนเหลวของกรด ทำให้ฟลูออไรด์ไอออนมีปริมาณสูงในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และในระยะเวลาต่อมาฟลูออไรด์ไอออนสามารถแพร่ผ่านรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กของซีเมนต์ได้ในปริมาณที่ลดลง ทำให้สามารถวัดปริมาณฟลูออไรด์ได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน^[58] แต่อย่างไรก็ตามปริมาณฟลูออไรด์ที่มีการปลดปล่อยจากกลาสไอโอโนเมอร์ ชนิด A-D ยังถือว่ามีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม ที่มีค่าปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ 24 ชั่วโมงแรกเป็น 9.484 ppm.

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันในระดับสูง หมายความว่า ยิ่งอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มากขึ้น จะทำให้ค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์ลดลง ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในซีเมนต์นี้สอดคล้องกับค่าการละลายตัวในกรดของซีเมนต์ จึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายตัวในกรดและค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ พบว่ามีค่าความสัมพันธ์เป็น 0.824 (ตารางที่ 26) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง หมายความว่าในซีเมนต์ที่มีการละลายตัวสูง จะมีค่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงเช่นกัน

ในปัจจุบันกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าได้มีการเติมแร่ธาตุสตรอนเทียมแทนที่แคลเซียมภายในส่วนผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการปลดปล่อยฟลูออไรด์และความทึบแสงที่เกี่ยวข้องกับความสวยงามของซีเมนต์ ฟลูออไรด์ที่มีผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของเนื้อฟันได้ในทางคลินิกพบว่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณฟลูออไรด์และความเป็นกรดต่างในสารละลายโดยรอบ^[59] โดยความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 2 ppm ในสารละลายกรด pH 4.5 ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุโดยรวมลดลงร้อยละ 30-60 และการศึกษาของ Xu และคณะพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในปริมาณสูงจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ทำให้ความแข็งแรงของซีเมนต์ลดลง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำซีเมนต์มาทำการบูรณะในตำแหน่งที่ต้องรับแรงมาก โดยซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงมากกว่ามักมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในปริมาณน้อย ซึ่งการรักษาระดับฟลูออไรด์ในซีเมนต์โดยการใช้ฟลูออไรด์จากภายนอกให้สามารถมีการปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่เหมาะสมและระยะเวลาที่ยาวนานจึงจะสามารถช่วยป้องกันการเกิดฟันผุได้^[60]

5.1.5 คุณสมบัติทางแสง

การทดสอบคุณสมบัติทางแสง และสีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในการศึกษานี้ใช้ระบบการวัดและการบรรยายสีแบบ 3 มิติ ($L^*a^*b^*$) ซึ่งสามารถแสดงค่าความสว่างของซีเมนต์

แกนสีเขียว-แดง และแกนสีน้ำเงิน-เหลือง พบว่าค่าสีของซีเมนต์ชนิด A-D มีความแตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม โดยค่าเฉลี่ยของความสว่างในซีเมนต์ชนิด A B C และ D มีค่า 88.28 88.40 88.65 และ 91.14 ตามลำดับ ซึ่งมีความสว่างมากกว่าซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมที่มีค่าความสว่างเฉลี่ย 76.40 และในการเทียบแกนสีของซีเมนต์พบว่า ในแกนสีเขียว-แดง ซีเมนต์ชนิด A-D มีค่าอยู่ในแกนลบ ซึ่งเป็นแกนสีเขียว ในขณะที่ซีเมนต์ชนิด FujilIX มีค่าอยู่ในแกนบวกซึ่งเป็นแกนสีแดง และค่าแสดงแกนสีน้ำเงิน-เหลืองของซีเมนต์ A-D มีค่าเฉลี่ย 2.73 3.25 2.23 และ 1.92 ตามลำดับ ในขณะที่ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมมีค่า 16.64 โดยซีเมนต์ทุกชนิดมีค่าอยู่ในแกนสีเหลืองทั้งหมด โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้ซีเมนต์ชนิด A-D มีค่าสีที่แตกต่างจากซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมคือส่วนประกอบภายในผงแก้วและเนื่องจากในกระบวนการเตรียมผงแก้วของซีเมนต์ไม่ได้ผ่านการเติมแต่งสีให้ใกล้เคียงพันธุกรรมชาติเหมือนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้า ทำให้ค่าของสีมีความแตกต่างกันมาก นอกจากนี้ค่าความสามารถในการผ่านของแสงของซีเมนต์พบว่าในซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ยกเว้นซีเมนต์ชนิด D ที่มีค่าแตกต่างจากซีเมนต์ทุกกลุ่ม)

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมนั้นมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์ การละลายตัวในกรด การปลดปล่อยฟลูออไรด์ สภาพพื้นผิวภายหลังการก่อตัว และความแข็งแรงกดอัด โดยซีเมนต์ที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์สูงพบว่าจะมีระยะเวลาการก่อตัวที่รวดเร็ว มีการละลายตัวสูง ส่งผลต่อการปลดปล่อยแร่ธาตุต่างๆ เช่น ฟลูออไรด์ออกมามากกว่ากลุ่มอื่นๆ โดยพบว่าซีเมนต์ชนิด B เป็นกลุ่มที่มีค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัว ความแข็งแรงกดอัด และการละลายตัวในกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ISO ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์เป็น 0.69 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ถึงแม้ว่าค่าการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นนี้อาจมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ISO ที่กำหนดไว้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิมพบว่ายังมีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากความหนาแน่นของผงซีเมนต์ที่ทำการสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีปริมาณสูงกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม ทำให้อัตราส่วนระหว่างส่วนผสมและส่วนน้ำของซีเมนต์ที่ศึกษาในครั้งนี้ มี

ปริมาณน้อยกว่าอัตราส่วนของกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม ซึ่งปริมาณของผงแก้วมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ และจากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงแก้วพบว่า ถึงแม้ขนาดอนุภาคของผงแก้วในซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการจะมีค่าใกล้เคียงกับผงของกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม แต่การกระจายตัวของผงแก้วนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ แตกต่างจากผงของกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติของซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นมีความแตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม

นอกจากนี้คุณสมบัติการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มีรูปแบบการปลดปล่อยเช่นเดียวกับกลาสไอโอโนเมอร์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม แต่พบว่ามีปริมาณต่ำกว่า ทั้งนี้มาจากปริมาณฟลูออไรด์ที่ใส่ในขั้นตอนการสังเคราะห์ส่วนของซีเมนต์ในการทดลองนี้มีปริมาณน้อยกว่า ถึงแม้ว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์จากซีเมนต์ที่สังเคราะห์ขึ้นนี้จะมีปริมาณน้อย แต่ก็พบว่าเพียงพอต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของเนื้อฟันได้ในทางคลินิก โดยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่มากเกินไป อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของซีเมนต์ได้ อีกทั้งคุณสมบัติทางแสงของซีเมนต์ที่พบว่ามีสีที่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม เนื่องจากขั้นตอนการสังเคราะห์ผงแก้วไม่ได้มีการแต่งสีในขั้นตอนการหลอมแก้ว ทำให้สีที่ได้ไม่สวยงามเหมือนในฟันธรรมชาติ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลผ่านมาตรฐาน ISO ได้แก่ ซีเมนต์ชนิด B แต่การใช้งานซีเมนต์ในทางคลินิก จำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆของซีเมนต์เพิ่มเติม เช่น ค่าความเป็นพิษ ค่าการยึดติดของซีเมนต์ ค่าความต้านทานต่อแรงดึง เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้อาจเป็นพื้นฐานความรู้ทางทันตวัสดุศาสตร์เพื่อการพัฒนาสูตรแก้วให้ดีขึ้นในอนาคต หรือต่อยอดการสังเคราะห์ส่วนน้ำของซีเมนต์ให้สามารถใช้งานซีเมนต์ได้จริงในทางคลินิกต่อไป

บรรณานุกรม

1. Simon JF, Rijk WG. Dental cements. Inside Dentistry. 2006;2(2):42-7.
2. Walton JN, Gardner FM, Agar JR. A survey of crown and fixed partial denture failures: length of service and reasons for replacement. Journal of Prosthetic Dentistry. 1986;56(4):416-21.
3. Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. Journal of Prosthetic Dentistry. 2003;89(2):127-34.
4. Macorra JCdl, Pradies G. Conventional and adhesive luting cements. Clinical Oral Investigations. 2002;6(4):198-204.
5. Pegoraro TA, Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. Dental Clinics of North America. 2007;51(2):453-71.
6. Craig RG. Restorative Dental Materials. 9th ed. Missouri, United States: MOSBY YEAR BOOK INC; 1993.
7. Zheng HYM, Chen R, Cheng H. Proper selection of contemporary dental cements. Oral health and dental management. 2014;13(1):54-9.
8. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R. Fundamentals of fixed prosthodontics. 3rd ed. Chicago: Quintessence; 1997.
9. Erkut S, Kucukesmen HC, Eminkahyagil N, Imirzalioglu P. Influence of previous provisional cementation on the bond strength between two definitive resin-based luting and dentin bonding agents and human dentin. Operative Dentistry. 2007;32(1):84-93.
10. Ribeiro JC, Coelho PG, Janal MN, Silva NR. The influence of temporary cements on dental adhesive systems for luting cementation. Journal of Dentistry. 2011;39(3):255-62.
11. Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cements. Chicago: Quintessence Publishing Company; 1988.
12. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry: the glass-ionomer cement. British dental journal 1972;132(4):133-5.
13. Wilson AD, Batchelor RF. Dental silicate cements I. The chemistry of erosion. Journal of Dental Research. 46(5):1075-85.

14. Kovarik RE, Haubenreich JE, Gore D. Glass ionomer cements: a review of composition, chemistry, and biocompatibility as a dental and medical implant material. *Journal of long-term effects of medical implants*. 2005;15(6):655-71.
15. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials*. 1998;19(6):485-94.
16. Yoshida Y, Meerbeek BV, Nakayama Y, Snauwaert J. Evidence of chemical bonding at biomaterial/hard tissue interfaces. *Journal of Dental Research*. 2000;79(2):709-14.
17. Berg JH. Glass ionomer cements. *Pediatric Dent* 2002;24(5):430-8.
18. Albers HF. Tooth-colored restoratives : principles and techniques. 9th ed. Hamilton: Ont: BC Decker Inc; 2002.
19. Walls AW. Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *Journal of Dentistry*. 1986;14(6):231-6.
20. Mitra SB. Adhesion to dentin and physical properties of a light-cured glass-ionomer liner/base. *Journal of Dental Research*. 1991;70(1):72-4.
21. Mahesh ST, Suresh P, Sandhyarani J, Sravanthi J. GLASS IONOMER CEMENTS (GIC) IN DENTISTRY: A REVIEW. *International Journal Plant Animal and Environment Sciences* 2011;1(1):26-30.
22. Wilson AD, Crisp S, Ferner AJ. Reactions in glass-ionomer cements: IV. Effect of chelating comonomers on setting behavior. *Journal of Dental Research* 1976;55(3):489-95.
23. Nicholson JW, Czarnecka B. *Materials for the Direct Restoration of Teeth*. 1st ed. United Kingdom: Woodhead Publishing; 2016.
24. Wilson AD. A hard decade's work: steps in the invention of the glass-ionomer cement. *Journal of Dental Research*. 1996;75:1723-7.
25. Mickenautsch S, Mount G, Yengopal V. Therapeutic effect of glass-ionomers: an overview of evidence. *AUST DENT J*. 2011;56(1):10-5.
26. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dental materials*. 2000;16(2):129-38.
27. Marinho VC. Cochrane reviews of randomized trials of fluoride therapies for

preventing dental caries. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2009;10(3):183-91.

28. Khoroushi M, Mansoori-Karvandi T, Hadi S. The effect of pre-warming and delayed irradiation on marginal integrity of a resin-modified glass-ionomer. *Gen Dent*. 2012;60(6):e383-8.

29. Purton DG, Rodda JC. Artificial caries around restorations in roots. *Journal of Dental Research*. 1988;67:817-21.

30. Ngo HC, Mount G, Intyre JM, Tuisuva J. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *Journal of Dentistry*. 2006;34(8):608-13.

31. Baig MS, Fleming GP. Conventional glass-ionomer materials: A review of the developments in glass powder, polyacid liquid and the strategies of reinforcement. *Journal of Dentistry*. 2015;43(8):897-912.

32. Schmitt W, Purrmann R, Jochum P, Gasser O, inventors; ESPE Fabrik Pharmazeutischer Präparate GmbH (Seefeld, DE), assignee. Calcium depleted aluminium fluorosilicate glass powder for use in dental or bone cements. United states 1983.

33. Kaplan AE, Williams J, Billington RW, Braden M. Effects of variation in particle size on biaxial flexural strength of two conventional glass-ionomer cements. *J Oral Rehabil*. 2004;31(4):373-8.

34. Wasson EA, Nicholson JW. Effect of operator skill in determining the physical properties of glass-ionomer cements. *Clinical Materials*. 1994;15(3):169-72.

35. Sarkar NK. Metal-matrix interface in reinforced glass ionomers. *Dental materials*. 1999;15(6):421-5.

36. Gjorgjevska E, Tendeloo GV, Nicholson JW, Coleman NJ. The incorporation of nanoparticles into conventional glass-ionomer dental restorative cements. *Microsc Microanal*. 2015;21(2):329-406.

37. Czarnecka B, Nicholson JW. Ion release by resin-modified glass-ionomer cements into water and lactic acid solutions. *Journal of Dentistry*. 2006;34(8):539-43.

38. Cate JMt. In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *Journal of Dental Research*. 1990;69:614-9.

39. Pereira PN, Inokoshi S, Tagami J. In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *Journal of Dentistry*. 1998;26(5-6):505-10.
40. Forsten L. Short- and long-term fluoride release from glass ionomers and other fluoride-containing filling materials in vitro. *Scandinavian journal of dental research*. 1990;98(2):179-85.
41. Guida A, Hill RG, Towler MR. Fluoride release from model glass ionomer cements. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2002;13(7):645-9.
42. Zeynep O, Bayrak S, Fidanci UR, Tevhide S. Fluoride and aluminum release from restorative materials using ion chromatography. *J Appl Oral Sci*. 2012;20(1):27-31.
43. Nakajo K, Imazato S, Takahashi Y, Kiba W. Fluoride released from glass-ionomer cement is responsible to inhibit the acid production of caries-related oral streptococci. *Dental materials*. 2009;25(6):703-8.
44. Yli-Urpo H, Vallittu PK, Närhi TO, Forsback AP, Väkiparta M. Release of silica, calcium, phosphorus, and fluoride from glass ionomer cement containing bioactive glass. *J Biomater Appl*. 2004;19(1):5-20.
45. Ö.H.Andersson, J.E.Dahl. Aluminium release from glass ionomer cements during early water exposure in vitro. *Biomaterials*. 1994;15(11):882-8.
46. Swift EJ, Dogan U. Analysis of glass ionomer cement with use of scanning electron microscopy. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1990;64:167-74.
47. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. *Applied statistics for the behavioral sciences*. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin 2003.
48. S.Crisp, B.G.Lewis, A.D.Wilson. Characterization of glass-ionomer cements: 2. Effect of the powder: liquid ratio on the physical properties. *Journal of Dentistry*. 1976;4(6):287-90.
49. N.M.Kilpatrick, McCabe JF, Murray JJ. Factors that influence the setting characteristics of encapsulated glass ionomer cements. *J Dent*. 1994;22:182-7.
50. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD. Characterization of glass- ionomer cements 1. Long term hardness and compressive strength *Journal of Dentistry*. 1976;4:162-6.
51. Williams J, Billington R. Changes in compressive strength of glass ionomer

restorative materials with respect to time periods of 24 h to 4 months. J Oral Rehabi. 1991;18:163-8.

52. Yli-Urpo H, Lassila L, Närhi T, Vallittu P. Compressive strength and surface characterization of glass ionomer cements modified by particles of bioactive glass. Dent Mater. 2005;21:201-9.

53. FUKAZAWA M, MATSUYA S, YAMANE M. The Mechanism for Erosion of Glass-ionomer Cements in Organic-Acid Buffer Solutions. J Dent Res. 1990;69(5):1175-9.

54. Gandolfi M, Chersoni s, Acquaviva G, Piana G, Prati C, Mongiorgi R. Fluoride release and absorption at different pH from glass-ionomer cements. Dent Mater. 2006;22(5):441-119.

55. Okuyama K, Murata Y, Pereira P, Miguez P, Komatsu H, Sano H. Fluoride release and uptake by various dental materials after fluoride application. Am J Dent. 2006;19(2):123-7.

56. Itota T, Carrick T, Rusby S, OT AN, Yoshiyama M, McCabe J. Determination of fluoride ions released from resin-based dental materials using ion-selective electrode and ion chromatograph. J Dent. 2004;32(2):117-22.

57. W.M.Tay, M.Braden. Fluoride ion diffusion from polyalkenoate (glass-ionomer) cements. Biomaterials. 1988;9:454-6.

58. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. Biomaterials 1998;19:503-8.

59. Cate JT, Damen J, Buijs M. Inhibition of dentin demineralization by fluoride in vitro. Caries Res. 1998;32(2):141-7.

60. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. Biomaterials. 2003;24(14):2451-61.



ตาราง 20 องค์ประกอบภายในส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทางการค้าชนิดดั้งเดิม (Fuji IX, GC Corp., Japan) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF)

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
F	15.80
Na ₂ O	7.36
Al ₂ O ₃	31.65
SiO ₂	26.89
P ₂ O ₅	5.09
SO ₃	0.07
K ₂ O	0.03
CaO	0.08
TiO ₂	0.05
Fe ₂ O ₃	0.04
CuO	0.02
SrO	12.72
BaO	0.20

ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัว

ความหนาแน่นของผงซีเมนต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีค่าดังนี้ ผงซีเมนต์ชนิด A มีค่า 2.42 กรัม/ลบ.ซม.³ ผงซีเมนต์ชนิด B มีค่า 2.43 กรัม/ลบ.ซม.³ ผงซีเมนต์ชนิด C มีค่า 2.36 กรัม/ลบ.ซม.³ ผงซีเมนต์ชนิด D มีค่า 2.40 กรัม/ลบ.ซม.³ และผงกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX) มีค่า 1.92 กรัม/ลบ.ซม.³

ปริมาตรของส่วนผงแต่ละกลุ่ม ได้จากการคำนวณ โดยใช้สูตร $V = M/D$ โดย M คือน้ำหนักของส่วนผงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยซีเมนต์กลุ่ม A-D มีน้ำหนัก 1.42 กรัม และผงกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX) มีน้ำหนัก 3.4 กรัม และ D คือความหนาแน่นของผงซีเมนต์แต่ละกลุ่ม คำนวณปริมาตร (V) ของผงซีเมนต์แต่ละกลุ่ม ได้ดังนี้ ผงซีเมนต์ชนิด A มีค่า

0.58 ลบ.ซม³ ผงซีเมนต์ชนิด B มีค่า 0.58 ลบ.ซม³ ผงซีเมนต์ชนิด C มีค่า 0.60 ลบ.ซม³ ผงซีเมนต์ชนิด D มีค่า 0.59 ลบ.ซม³ และผงกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX) มีค่า 1.77 ลบ.ซม³

ความหนาแน่นของส่วนเหลวที่ใช้ในการผสมในการศึกษานี้ ใช้ส่วนเหลวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX) ร่วมกับซีเมนต์ทุกกลุ่ม โดยความหนาแน่นของส่วนเหลวนี้ ได้จากการคำนวณ ดังนี้ ส่วนเหลวน้ำหนัก 1.2 กรัม คิดเป็นปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ถ้าส่วนเหลวน้ำหนัก 1 กรัม คิดเป็นปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้น ส่วนเหลวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีความหนาแน่น 0.83 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การคำนวณความหนาแน่นของซีเมนต์ที่ผสมส่วนผงกับส่วนเหลว จึงใช้สูตร $D=M/V$ โดยรวมค่าน้ำหนักของส่วนผงและส่วนเหลว และเทียบกับปริมาตรของส่วนผงรวมกับส่วนเหลว ดังนี้

ซีเมนต์ชนิด A ส่วนผงน้ำหนัก 1.42 กรัม ปริมาตร 0.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ส่วนเหลวน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{1.42+1}{0.58+0.83} = 1.716 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ซีเมนต์ชนิด B ส่วนผงน้ำหนัก 1.42 กรัม ปริมาตร 0.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ส่วนเหลวน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{1.42+1}{0.58+0.83} = 1.716 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ซีเมนต์ชนิด C ส่วนผงน้ำหนัก 1.42 กรัม ปริมาตร 0.60 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ส่วนเหลวน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{1.42+1}{0.60+0.83} = 1.69 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ซีเมนต์ชนิด D ส่วนผงน้ำหนัก 1.42 กรัม ปริมาตร 0.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ส่วนเหลวน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{1.42+1}{0.59+0.83} = 1.70 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Fuji IX) ส่วนผงน้ำหนัก 3.4 กรัม ปริมาตร 1.77 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ส่วนเหลว น้ำหนัก 1 กรัม ปริมาตร 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{3.40+1}{1.77+0.83} = 1.69 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ตาราง 21 สรุปค่าความหนาแน่นของซีเมนต์ก่อนและหลังผสม

ซีเมนต์	ก่อนผสม (กรัม/ซม. ³)	หลังผสม (ก่อตัวแล้ว) (กรัม/ซม. ³)
A	2.42	1.72
B	2.43	1.72
C	2.36	1.69
D	2.40	1.70
Fuji IX	1.92	1.69

ตาราง 22 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์

		Ratio (Al:Si)	Setting time
Ratio (Al:Si)	Pearson Correlation	1	0.960**
	Sig.(2-tailes)		0.00
	N	25	25
Setting time	Pearson Correlation	0.960**	1
	Sig.(2-tailes)	0.00	
	N	25	25

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailes)

ตาราง 23 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และความแข็งแรงกดอัดของซีเมนต์

		Ratio (Al:Si)	Compressive strength
Ratio (Al:Si)	Pearson Correlation	1	0.481*
	Sig.(2-tailes)		0.00
	N	25	25
Compressive strength	Pearson Correlation	0.481*	1
	Sig.(2-tailes)	0.00	
	N	25	25

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailes)

ตาราง 24 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และค่าการละลายตัวในกรดของซีเมนต์

		Ratio (Al:Si)	Acid erosion
Ratio (Al:Si)	Pearson Correlation	1	-0.615**
	Sig.(2-tailes)		0.00
	N	25	25
Acid erosion	Pearson Correlation	-0.615**	1
	Sig.(2-tailes)	0.00	
	N	25	25

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailes)

ตาราง 25 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์และปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์

		Ratio (Al:Si)	F release
Ratio (Al:Si)	Pearson Correlation	1	-0.869**
	Sig.(2-tailes)		0.00
	N	20	20
F release	Pearson Correlation	-0.869**	1
	Sig.(2-tailes)	0.00	
	N	20	20

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailes)

ตาราง 26 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์และการละลายตัวในกรด

		F release	Acid erosion
F release	Pearson Correlation	1	0.824**
	Sig.(2-tailes)		0.00
	N	20	20
F release	Pearson Correlation	0.824**	1
	Sig.(2-tailes)	0.00	
	N	25	25

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailes)

ตาราง 27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับความสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

ค่าระดับความสัมพันธ์ (r)	ระดับของความสัมพันธ์
0.90-1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70-0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50-0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30-0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00-0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

ที่ ม ๑ Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. Applied statistics for the behavioral sciences. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin 2003.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐฐาภรณ์ นาคพิน
วัน เดือน ปี เกิด	15 ธันวาคม 2531
สถานที่เกิด	กระบี่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2556 ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร พ.ศ.2558 หลักสูตรอบรมระยะสั้น สาขาทันตกรรมทั่วไป โรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก

