

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การพัฒนาวัสดุบุรณะพื้นกลาสไอโอโนเมอร์
ที่เปลี่ยนสีตามอุณหภูมิ

โดย

นิยม อ่างค้อนันต์สกุล

สมพร สวัสดิ์สรพ์

เดือนมีนาคม ปีพ.ศ. 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุน จากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Acknowledgements

This research project was supported by Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund
Chulalongkorn University

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาวัสดุบุรณะฟันกลาสไอโอโนเมอร์ที่เปลี่ยนสีตามอุณหภูมิ

ชื่อผู้วิจัย นาย นิยม อ่างรงค์อนันต์สกุล

นางสาว สมพร สวัสดิ์สรพร

เดือนและปีที่ทำวิจัยสำเร็จ มิถุนายน 2555

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเทอร์โมโครมิกที่ผสมลงในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ สมบัติทางกายภาพ เชิงกล และการเข้ากันได้ทางชีวภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก

วิธีการ ผสมสารเทอร์โมโครมิกเข้ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ วัสดุของขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 37 และ 30 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คำนวณค่าผลต่างของสี ใช้อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสารเทอร์โมโครมิกที่ให้ค่าผลต่างของสีมีค่าตั้งแต่ 3.3 หน่วย เพื่อใช้ในการทดสอบ ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น การปลดปล่อยฟลูออไรด์ การสลายตัวในน้ำ กำลังความแข็งแรงดึง กำลังความแข็งแรงต่อแรงอัด ความเป็นพิษ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา การผสมสารเทอร์โมโครมิกด้วยอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เมื่อขึ้นทดสอบอยู่ในภาวะอุณหภูมิ 37 และ 30 องศาเซลเซียส ให้ค่าผลต่างของสีมีค่ามากกว่า 3.3 หน่วย ค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อย การสลายตัวในน้ำ กำลังความแข็งแรงดึง และค่ากำลังความแข็งแรงต่อแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมและไม่ผสมสารเทอร์โมโครมิกมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ไม่พบว่าความเป็นพิษของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

สรุป กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารผสมสารเทอร์โมโครมิกมีสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และการเข้ากันได้ทางชีวภาพทางชีวภาพมีค่าไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดปกติ

Project Title: Development of thermochromic glass ionomer restorative dental cement

Name of the Investigators: Mr. Niyom Thamrongananskul

Miss. Somporn Swasdison

Year: June 2013

Abstract

Objectives to study the amount of thermochromic agent incorporated into glass ionomer cement and to evaluate the physical, mechanical, and biocompatibility properties of thermochromic agent added glass ionomer cement.

Methods The thermochromic agent was cooperated into glass ionomer cement. The color value was measured by spectrophotometer when specimens were in conditions at 37°C and 30°C, respectively. The different color value (ΔE) was calculated. The amount of thermochromic agent that enhanced $\Delta E > 3.3$ units was added into glass ionomer cement for the following testing: initial setting time, fluoride releasing, water disintegration, tensile strength, compressive strength, biocompatibility. The data were collected and statically analyzed by Independent t-test.

Results The glass ionomercement added with three weight percent of thermochromic agent enhanced $\Delta E > 3.3$ units when specimens were at 37 °C and 30 °C. The initial setting time, fluoride releasing, water disintegration, tensile strength, compressive strength were no significant difference from conventional glass ionomer cement ($p > 0.05$). It also showed that 3 % thermochromic agent added-glass ionomer cement demonstrated no cytotoxicity test.

Conclusion The physical, mechanical and biocompatibility properties of thermochromic agent added glass ionomer cement were not significantly different from conventional glass ionomer cement.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iv
สารบัญ.....	vi
รายการตารางประกอบ.....	viii
รายการภาพประกอบ.....	x
บทนำ.....	1
การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
วัสดุและวิธีการ.....	5
การหาสัดส่วนของการผสมที่เหมาะสมระหว่างสารเทอร์โมโครมิกกับผง.....	6
ขั้นตอนการวัดสี.....	7
การทดสอบลักษณะสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	8
การหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	8
การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเริ่มต้น.....	8
การหาค่าการสลายตัวในน้ำ.....	9
การหาค่ากำลังความแข็งแรงดึงแบบไดอะเมทรัล และค่ากำลังความแข็งแรงต่อแรงอัด.....	10
การศึกษาสมบัติทางชีวภาพโดยการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธีการสัมผัสโดยตรง และวิธีเอ็มทีที.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การเพาะเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์บนแผ่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	16
ผลการศึกษา.....	19
ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์.....	21
ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยในระยะเริ่มต้น.....	22
ค่าการสลายตัวในน้ำ.....	26
ค่าความทนแรงดึง.....	28
ค่าความทนแรงอัด.....	28
พฤติกรรมการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ และผลทดสอบด้วยวิธีเอ็มทีที.....	31
วิจารณ์.....	33
สรุป.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	40

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงชนิด ลักษณะ และองค์ประกอบ บริษัทผู้ผลิตวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	5
ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของน้ำยาเลี้ยวเซลล์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของ GIBCO BRL, USA.....	14
ตารางที่ 3 แสดงค่า ΔE ของ t-Fuji IX ที่ผสมด้วยสารเทอร์โมโครมิก ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 37 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส.....	18
ตารางที่ 4 แสดงค่า ΔE ของ t-Ketac Molar ที่ผสมด้วยสารเทอร์โมโครมิกด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 37 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส.....	18
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของวัสดุกลาสไอ- โอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX.....	20
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของวัสดุกลาสไอ- โอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โม- โครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar.....	21
ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอ- โอโนเมอร์ ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX.....	22
ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอ- โอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโคร- มิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar.....	23

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

หน้า

- ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละการสลายตัวในน้ำของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX.....27
- ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละการสลายตัวในน้ำของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar27
- ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนแรงดึงและความทนแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX.....29
- ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนแรงดึงและความทนแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสาร สารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar..... 29

รายการภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 1	กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ Fujilix [®] ที่ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว.....	5
รูปที่ 2	กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ Ketac Molar [®] ที่ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว.....	6
รูปที่ 3	ชิ้นทดสอบที่ก่อตัวสมบูรณ์.....	7
รูปที่ 4	การเตรียมชิ้นทดสอบในแม่แบบอะคริลิกใส.....	7
รูปที่ 5	เครื่องวัดสี Hunter Lab, Ultrascan XE.....	8
รูปที่ 6	แม่แบบโลหะไร้สนิมด้านล่างมีช่องสำหรับเป็นที่อยู่ของเส้นเอ็นที่ยึดติดกับชิ้นทดสอบ....	10
รูปที่ 7	แสดงแม่แบบพอลิเอทเธอร์ฟลูออโรเอทิลีน สำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบกำลังแรงดึง ไดอะเมทรัล (ก) และชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว (ข)	11
รูปที่ 8	แสดงชิ้นทดสอบที่ทดสอบกำลังแรงดึงไดอะเมทรัลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (ก) หลังจากการกดและแตกออกเป็น 2 ชิ้น (ข).....	12
รูปที่ 9	แสดงแม่แบบโลหะชนิดแยกส่วน สำหรับขึ้นรูปชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบความทนแรงอัด (ก) และชิ้นทดสอบของวัสดุอุดชั่วคราวที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว (ข)	13
รูปที่ 10	แสดงชิ้นทดสอบที่ทดสอบหาค่ากำลังแรงทนแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (ก) หลังการกดและแตกออกเป็น 2 ชิ้น (ข)	13
รูปที่ 11	แสดงการตัดเนื้อเยื่อของผู้ป่วยที่ทำศัลยกรรมเหงือก.....	15
รูปที่ 12	แสดงเนื้อเยื่อที่ตัดเป็นชิ้นเล็กและวางไว้ในจานเพาะเลี้ยง.....	16

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 13 แสดงเนื้อเหงือกที่ตัดบิ่นขึ้นเล็กและวางไว้ในจานเพาะเลี้ยงที่เติมน้ำยาเลี้ยงเซลล์.....	16
รูปที่ 14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับแสดงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่มีรูปทรง แบบกระสวย.....	16
รูปที่ 15 แสดงแผ่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เสียบด้วยเข็มและแช่ในยาเลี้ยงเซลล์.....	17
รูปที่ 16 แสดงสารเอ็มทีทีที่เปลี่ยนเป็นสารฟอร์มาแซน ซึ่งมีสีม่วงน้ำเงิน ก่อนนำไปวัดค่าการดูด กลืนแสง.....	18
รูปที่ 17 กราฟแสดงร้อยละของสารเทอร์โมโครมิกที่ผสมกับส่วนผงของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ กับค่า ΔE	20
รูปที่ 18 ขึ้นทดสอบกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ก) และที่ 30 องศา เซลเซียส (ข).....	20
รูปที่ 19 แสดงกราฟการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และกลาสไอ- โอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX ตลอดระยะ เวลา 30 วัน.....	25
รูปที่ 20 แสดงกราฟการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar ตลอดระยะเวลา 30 วัน.....	26
รูปที่ 21 กราฟแสดงความทนแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก.....	30

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 22 กราฟแสดงความทนแรงดึงของวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับแสดงการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบร-บลาสต์กับวัสดุ ก. Fuji IX ข. t-Fuji IX.....	31
รูปที่ 24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับแสดงการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบร-บลาสต์กับวัสดุ ก. Ketac Molar ข. t-Ketac Molar.....	32
รูปที่ 25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบเซลล์ไฟโบรบลาสต์กระจายตัวอยู่บนผิวหน้าของชั้นทดสอบ (t-Ketac molar).....	32
รูปที่ 26 การอุดทางเข้าของคลองรากฟันด้วยวัสดุกระจกไอโอโนเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้.....	36

การพัฒนาวัสดุบูรณะฟันกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เปลี่ยนสีตามอุณหภูมิ Development of thermochromic glass ionomer restorative dental cement

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement, GIC) มาใช้ในงานทันตกรรมด้วยวัตถุประสงค์ต่าง ๆ อาทิเช่น บูรณะฟัน (base) ผนึกหลุมร่องฟัน (pit and fissure sealant) กาวยึด (luting) และอุดฟัน (filling) เป็นต้น เมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอะมัลกัม กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ ได้แก่ มีสีเหมือนกับฟัน สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียงเนื้อฟัน และสามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของฟันได้ ด้วยสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มาใช้อุดฟันที่เข้าสู่คลองรากฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟันเสร็จสมบูรณ์แล้วเพื่อรอการบูรณะในขั้นตอนต่อไป ซึ่งฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันโดยส่วนมากจำเป็นต้องทำการบูรณะต่อด้วยการใส่เดือยฟันและครอบฟันตามลำดับ ในขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟันเพื่อใส่เดือยฟันนั้นจะต้องทำการกำจัดวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ปิดผนึกไว้ออกไป ซึ่งการรีอวส์ที่มีสีเหมือนฟันนั้นอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย เช่น กรอเนื้อฟันออกมากเกินไป หรือกรอทะลุออกนอกคลองรากฟัน เป็นต้น ดังนั้นถ้าสามารถพัฒนาวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้มีสีที่เด่นชัดและสามารถแยกแยะออกจากสีของเนื้อฟันด้วยสายตามนุษย์ก็จะลดความผิดพลาดที่กล่าวมาได้

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุประเภทซีเมนต์ที่ใช้ในทางทันตกรรมได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1970 ซีเมนต์ชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนผง (powder) ที่มีสมบัติเป็นด่าง คือแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตกลาส (calcium fluoroaluminosilicate glass) หรือเรียกว่าผงแก้ว ขณะที่ส่วนเหลว (liquid) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่สามารถละลายน้ำได้ส่วนใหญ่เป็นกรดพอลิแอลคีนอิก (polyalkenoic acid) เมื่อทำการผสมส่วนผงและส่วนเหลวเข้าด้วยกัน จะทำให้เกิดปฏิกิริยากรด-ด่าง (acid-base reaction) [Anussavic 2003, O'Brien 2008, van Noort 2008, Gladwin 2009, Sakaguchi 2012] การเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มจากการแตกตัวของกรดพอลิแอลคีนอิกในน้ำได้เป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีประจุเรียกว่า “ไอโอโนเมอร์ (ionomer)” และ

ไฮโดรเจนไอออน (H^+) โดยไฮโดรเจนไอออนจะไปทำปฏิกิริยาที่ผิวของผงแก้ว ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่บริเวณผิวแก้วเกิดเป็นซิลิกาเจล (silica gel) โดยแกนกลางของผงแก้วยังคงสภาพโครงสร้างเดิม ขณะที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างที่ผิวจะเกิดกระบวนการปลดปล่อยไอออนของโลหะต่างๆ ออกมา เช่น อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และฟลูออไรด์ไอออน (F^-) เป็นต้น ไอออนที่มีประจุบวกจะทำหน้าที่เชื่อมสายโซ่ไอโอโนเมอร์เข้าด้วยกันเกิดเป็นเกลือแคลเซียมพอลิแอลคิโนเอต (calcium polyalkenoate salt) หรือเกลืออะลูมิเนียมพอลิแอลคิโนเอต (aluminium polyalkenoate salt) เกลือดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นร่างแห ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนโครงร่างหรือเมทริกซ์ของซีเมนต์ ดังนั้นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ก่อตัวแล้วจะประกอบด้วยผงแก้วที่ห่อหุ้มด้วยซิลิกาเจลที่กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์

สมบัติเด่นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในการบูรณะฟัน คือ สามารถยึดติดกับผิวเคลือบฟันหรือเนื้อฟันด้วยพันธะเคมี (chemical bond) มีความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยสารฟลูออไรด์ได้ในระยะยาวนาน [Anussavic 2003, O'Brien 2008, van Noort 2008, Gladwin 2009, Sakaguchi 2012] ในขณะที่ซีเมนต์ชนิดอื่นไม่มีสมบัติด้านนี้ให้ความสะดวกเพราะมีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเมื่อได้รับความร้อนใกล้เคียงกับเนื้อฟัน และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) อย่างไรก็ตามกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังมีสมบัติด้อยหลายประการ เช่น มีระยะเวลาในการผสม (mixing time) สั้น มีความไวต่อความชื้นโดยจะดูดน้ำในช่วงแรกขณะก่อตัว มีความแข็งแรงและความต้านทานต่อการขัดถูต่ำ ซึ่งข้อด้อยเหล่านี้ได้มีการแก้ไขและปรับปรุงให้ดีขึ้น ได้แก่ 1) การเติมกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) เพื่อยืดระยะเวลาในการผสม 2) เติมผงโลหะผสม เช่น นิกเกิล เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และ 3) เติมเรซิน (resin) เช่น HEMA (hydroxyethyl methacrylate) หรือ Bis-GMA (bisphenol glycidyl methacrylate) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization reaction) โดยหวังผลในเรื่องการลดการดูดซึมน้ำขณะก่อตัว ซึ่งวัสดุผสมชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า “เรซินดัดแปรกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์” (resin modified glass ionomer cement, RMGIC) หรือ “กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดลูกผสม” (hybrid glass ionomer cement)

เนื่องจากสมบัติที่ดีหลายประการ จึงมีการนำกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ RMGIC มาใช้ร่วมกับงานรักษาคคลองรากฟัน โดยใช้แต่งพื้นโพรงฟันและใช้อุดปิดรูเปิดของคลองรากฟันเพื่อป้องกันการรั่วซึม (leakage) ของคลองรากฟันที่ได้รับการรักษาแล้ว การรั่วซึมของคลองรากฟันจะทำให้ของเหลวและเชื้อแบคทีเรียจากภายนอกเข้าสู่คลองรากฟัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวในการรักษาคคลองรากฟัน ดังนั้นในฟันที่รักษาคคลองรากฟันเสร็จสมบูรณ์แล้วและ

อยู่ในระยะรอการบูรณะในขั้นต่อไป จำเป็นต้องทำการอุดผนึกงูเปิดของคลองรากฟันให้มิดชิด มีการวิจัยที่แสดงว่าการอุดผนึกทางเข้าดังกล่าวด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือ RMGIC ที่มีความหนาตั้งแต่ 1-3 มิลลิเมตร สามารถป้องกันการรั่วซึมของความชื้นและเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิด

Seiler (2005) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการรั่วซึมของเชื้อสเตร็ปโตคอคคัสมิวแทนส์ (*Streptococcus mutans*) เมื่ออุดผนึกทางเข้าคลองรากฟันด้วยซีเมนต์ 4 ชนิด ได้แก่กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์, RMGIC, IRM® และ Cavit® พบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ RMGIC สามารถป้องกันการรั่วซึมของเชื้อดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการอุดผนึกทางเข้าคลองรากฟันด้วย IRM หรือ Cavit

Chailertvanitkul และคณะ (1997) ได้ศึกษาการรั่วซึมของเชื้อแบคทีเรียเมื่อใช้ RMGIC อุดผนึกงูเปิดคลองรากฟันที่บริเวณเนื้อเยื่อโพรงฟัน (pulp chamber of root canal) พบว่า RMGIC ที่มีความหนาเพียง 1 มิลลิเมตร สามารถป้องกันการรั่วซึมของเชื้อ anaerobic streptococci และ *Fusobacterium nucleatum* ได้มากกว่า 60 วัน

Maloney และคณะ (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีความหนา 1 และ 2 มิลลิเมตร อุดปิดทางเข้าคลองรากฟัน และพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถป้องกันการรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage) ได้ ไม่ว่าจะความหนาจะเป็น 1 หรือ 2 มิลลิเมตร

Mavec และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของการอุดผนึกงูเปิดคลองรากฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีระดับความหนาตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร เหนือแท่งยางอุดรากฟัน (gutta percha) ขนาดยาว 2-3 มิลลิเมตร จากปลายรากฟัน และพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถป้องกันการรั่วซึมจากปลายรากฟันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Jack และคณะ (2008) แนะนำว่า ไม่ว่าจะอุดคลองรากฟันด้วยวิธีหรือวัสดุใด ๆ ก็ตาม การอุดผนึกส่วนตัวฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร พบว่าสามารถป้องกันการเกิดการรั่วซึมบริเวณตัวฟันได้

Wolcott และคณะ (1999) รายงานว่าการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดที่มีสีแตกต่างจากสีของฟัน สามารถป้องกันการรั่วซึมและป้องกันความผิดพลาดของทันตแพทย์เมื่อทำการเตรียมคลองรากฟันเพื่อทำเดือยฟันและครอบฟันได้

ดังได้กล่าวไว้ในข้างต้นแล้วว่า ปัญหาที่สำคัญของการอุดฟันนี้คือการเปิดคลองรากฟันด้วย
 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือ RMGIC ระหว่างรอกการบูรณะด้วยการทำเดือยฟันและครอบฟัน คือ
 ทั้งกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และ RMGIC มีสีเหมือนกับเนื้อฟัน ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดและใช้
 เวลามากในการรี้อวัสดุชนิดนี้ออก เพื่อเตรียมช่องสำหรับใส่เดือยฟันอันเกิดจากความยากลำบาก
 ของทันตแพทย์ในการแยกสีระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ หรือ RMGIC ออกจากเนื้อฟัน
 ปัญหาดังกล่าวพบได้บ่อย และแม้ว่าจะมีผู้พยายามหาทางแก้ไขด้วยการใช้วัสดุอุดคลองรากฟัน
 และวัสดุอุดฟันที่สีแตกต่างจากฟัน เช่น วัสดุอุด Fuji 7 ซึ่งมีสีชมพูหรือสีเขียว แต่วิธีนี้ยังมี
 ข้อบกพร่องอยู่เนื่องจากสีของวัสดุดังกล่าวสามารถปรากฏออกมาที่ตัวฟันทำให้ขาดความสวยงาม
 อย่างมาก

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. หาสารและปริมาณของสารเทอร์โมโครมิกที่ผสมเข้ากับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
แล้วสามารถเห็นการเปลี่ยนสีของซีเมนต์ได้ด้วยสายตาปกติ
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น การละลายตัวในน้ำ
การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเวลาเริ่มต้นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมด้วย
สารเทอร์โมโครมิก
3. ทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังความแข็งแรงดึงแบบไดอะเมทรัล และค่า
กำลังความแข็งแรงต่อแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเทอร์โม-
โครมิก
4. ทดสอบสมบัติทางชีวภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเทอร์โม-
โครมิก โดยการทดสอบการเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์

วัสดุและวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงชนิด ลักษณะ และบริษัทผู้ผลิตวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุ	ลักษณะและองค์ประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
Fuji IX (Shade: 3A)	Power: Alumino-fluoro-silicate glass (amorphous) Liquid: Polyacrylic acid	GC Corporation, Tokyo, Japan
Ketac Molar (Shade :3A)	Power: Glass powder, Polyacrylic acid Liquid: Water, Polyethylene, Polycarbonic acid, Tartaric acid	3M ESPE, Seefeld, Germany
Thermochromic agent	Powder: Microcapsule BT-31	Kelly Chemical Corporation, Taiwan



รูปที่ 1 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ Fuji IX[®] ที่ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว

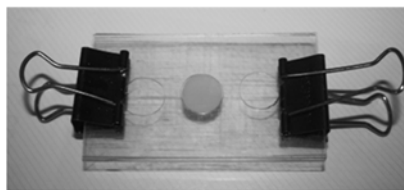
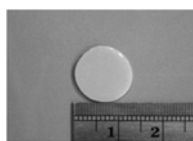


รูปที่ 2 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ Ketac Molar[®] ที่ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว

การหาสัดส่วนของการผสมที่เหมาะสมระหว่างสารเทอร์โมโครมิก กับผงฟลูออโรอะลูมิเนียมโนซิลิเกตกลาส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีแล้วสายตาปกติของมนุษย์สามารถแยกแยะได้ โดยการใช้เครื่องเทียบสี

ผสมส่วนสารเทอร์โมโครมิกเข้ากับส่วนผงฟลูออโรอะลูมิเนียมโนซิลิเกตกลาสของ Fuji IX หรือ Ketac Molar ด้วยอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จากนั้นผสมส่วนผงกับส่วนเหลวที่เป็นกรดพอลิอะคริลิกตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด

เตรียมขึ้นทดสอบเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงสี ทำได้โดยเตรียมขึ้นทดสอบเป็นรูปแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 3) เมื่อผสมส่วนผงและส่วนเหลวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงอัดวัสดุดังกล่าวลงในแม่แบบแผ่นอะคริลิกที่เจาะรูตรงกลางเป็นรูปแผ่นวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร และมีแผ่นอะคริลิกรองด้านล่าง เมื่ออัดวัสดุจนเต็มแม่แบบนำแผ่นอะคริลิกอีก 1 แผ่นมาวางประกบด้านบนของแม่แบบให้สนิท จากนั้นยัดเข้ากับแม่แบบด้วยที่หนีบกระดาษ 2 อัน (รูปที่ 4) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการก่อตัวอย่างสมบูรณ์ จากนั้นจึงแกะขึ้นทดสอบออกจากแม่แบบและนำขึ้นทดสอบแช่ในน้ำปราศจากอิออน (deionized water) และเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส โดยแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยขึ้นทดสอบ 5 ชิ้น



รูปที่ 3 ชั้นทดสอบที่ก่อตัวสมบูรณ์ รูปที่ 4 การเตรียมชั้นทดสอบในแม่แบบอะคริลิกใส

ขั้นตอนการวัดสี

ข้อกำหนด : พื้นที่ผิวบริเวณที่ต้องการวัดต้องมีขนาดใหญ่กว่าช่องรับแสง และมีผิวแบนเรียบ เพื่อให้ปิดช่องรับแสงที่ตกกระทบจากเครื่องทดสอบได้หมด โดยไม่ให้แสงลอดออกมาได้ ชั้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จึงสามารถครอบคลุมช่องรับแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรได้ทั้งหมด กำหนดให้มีการเทียบสีกับสีมาตรฐานก่อนการวัดชั้นงานทุกครั้ง

ขั้นตอนการวัดสีเริ่มจากนำชั้นทดสอบที่แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ชั้บให้แห้งด้วยกระดาษซับที่สะอาดและปราศจากขุย แล้วทำการวัดสีและบันทึกข้อมูล จากนั้นนำชั้นตัวอย่างดังกล่าวกลับไปแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำชั้นทดสอบมาชั้บให้แห้งด้วยกระดาษซับและนำวัดสีอีกครั้ง

การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab, Ultrascan XE, The Color Management Company, Hunter Associates Laboratory, Inc.U.S.A.) รูปที่ 5 โดยตำแหน่งที่วัดจะเป็นตำแหน่งเดิมทุกครั้งจากการทำสัญลักษณ์ไว้ที่ชั้นทดสอบ นำชั้นทดสอบวางแนบกับช่องวัดสี ซึ่งในการวัดสี 1 ครั้ง เครื่องจะอ่านค่าสีให้ 5 ครั้ง และบันทึกค่าเฉลี่ยของค่า L^* a^* และ b^* หลังจากวัดสีครบทุกชั้นงานแล้ว จึงหาความแตกต่างของสี (ΔE) โดยเปรียบเทียบระหว่างการวัดของชั้นทดสอบชั้นเดียวกันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และที่ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ $\Delta E = [(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2]^{1/2}$



รูปที่ 5 เครื่องวัดสี Hunter Lab, Ultrascan XE

การทดสอบลักษณะสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

การทดสอบทางกายภาพและทางกลของกลาสไอโอโนเมอร์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกนั้นจะศึกษาหลังจากได้ผลของเปลี่ยนแปลงของสีแล้ว โดยจะใช้อัตราส่วนร้อยละต่ำสุดระหว่างสารเทอร์โมโครมิกกับส่วนผงฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตกลาสมาใช้ทดสอบ

การหาระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (initial setting time)

Initial setting times of cement คือ ระยะการก่อตัวเริ่มต้น ซึ่งหาได้จากการใช้เครื่อง Gilmore หลักการคือผสมซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบตามวิธีการที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ จากนั้นบรรจุซีเมนต์ลงในวงแหวนโลหะแล้วนำไปวางไว้ได้แห้งโลหะที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/12 นิ้ว ตุ่มหนัก 1/24 ปอนด์ ของเครื่อง Gilmore แล้วค่อย ๆ วางตุ่มน้ำหนัก โดยให้ปลายของแท่งโลหะแตะที่ผิวหน้าของซีเมนต์เป็นระยะ ๆ จนกระทั่งปลายของแท่งโลหะไม่ทำให้ผิวหน้าของซีเมนต์เป็นรอย ระยะเวลาที่บันทึกได้คือ initial setting time (ให้นับเวลาตั้งแต่เริ่มผสม)

การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเริ่มต้น (initial fluoride releasing)

การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบกลุ่มละ 5 ชิ้น โดยใช้แม่แบบอะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตรวางบนแผ่นแก้วเรียบ ทาผิวแม่แบบทั้งหมดด้วยเจลกลีเซอริน

(glycerin jelly) เมื่อผสมวัสดุเสร็จแล้วนำไปใส่ในแม่แบบ ปาดส่วนเกินออกและปิดทับด้วยแผ่นแก้วและหนีบด้วยที่หนีบกระดาษ นำขึ้นทดสอบพร้อมแม่แบบเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะแผ่นตัวอย่างออกจากแม่แบบ ชัดแห้งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 วัดขนาดทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเพื่อให้นำขึ้นทดสอบมีขนาดใกล้เคียงกัน

การวัดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเริ่มต้น

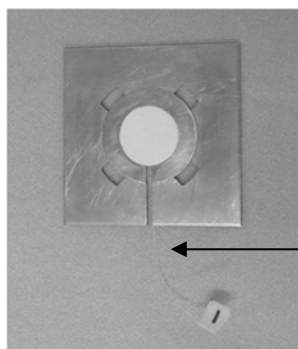
ใส่ชิ้นทดสอบในถ้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene) ที่มีน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบออกจากถ้วยพลาสติก โดยนำไปใส่ในถ้วยพลาสติกใหม่ที่มีน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาณ 5 มิลลิลิตร และในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำเช่นนี้จนครบ 7 วัน การวัดปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกจากชิ้นทดสอบสามารถทำได้ด้วยวิธี Fluoride ISE (Fluoride Ion-Selective Electrode) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นปริมาณของฟลูออไรด์ต่อหน่วยพื้นที่ของชิ้นทดสอบ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

การวัดปริมาณฟลูออไรด์ เริ่มจากนำสารละลาย ปริมาณ 3 มิลลิลิตรจากถ้วยพลาสติกที่ผ่านการแช่ด้วยชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง มาผสมกับ 0.3 มิลลิลิตร ของสารละลายบัฟเฟอร์ (acetic buffer solution, TISABIII, Orion Research Inc., Beverly, MA, USA) จากนั้นวัดปริมาณฟลูออไรด์ที่อยู่ในรูป free fluoride และ fluoride complexes โดยใช้ fluoride-specific electrode (combination Electrode 96-09BN, Orion Research Inc) ที่ต่อกับ ion meter (model 720A, Orion Research Inc) MA, USA)

การหาค่าการสลายตัวในน้ำ (water disintegration)

เตรียมชิ้นทดสอบกลุ่มละ 10 ชิ้น โดยใช้แม่แบบโลหะไร้สนิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 6) วางบนแผ่นแก้วเรียบ จากนั้นทาสีผิวแม่แบบทั้งหมดด้วยเจลาทีนเชอริน เมื่อผสมวัสดุเสร็จแล้วนำไปใส่ในแม่แบบ ปาดส่วนเกินออก จากนั้นใช้เส้นเอ็นพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 5 เซนติเมตร เสียบในช่องเสียบเส้นเอ็นที่ด้านบนของแม่แบบอะคริลิก โดยให้มีความยาวของเส้นเอ็นพลาสติกที่ไม่ได้อยู่ในชิ้นทดสอบยาวอย่างน้อย 3 เซนติเมตร จากนั้นใช้แผ่นแก้วเรียบวางทับกดให้ผิวหน้าแนบไปกับผิวของแม่แบบ

พลาสติกและหนีบด้วยที่หนีบกระดาษ นำขึ้นทดสอบพร้อมแม่แบบเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (ความละเอียด 0.001 มิลลิกรัม) ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นเรียกว่า W_1 จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปแขวนโดยให้จมอยู่ในขวดแก้ว (น้ำหนักของขวดแก้วเปล่า มีค่าเท่ากับ B_1) ที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 23 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาขึ้นทดสอบออก นำขวดแก้วบรรจุน้ำและสิ่งตกค้างต่าง ๆ ไประเหยเอาน้ำออก ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ เมื่อน้ำในขวดแก้วแห้งสนิท ทำการชั่งน้ำหนักขวดแก้ว (B_2) อีกครั้ง โดยร้อยละของการการละลายและการแตกออกเป็นอนุของวัสดุมีค่าเท่ากับ $(B_2 - B_1) \times 100 / W_1$



เส้นเอ็นสำหรับเสียบกับขึ้นทดสอบ

รูปที่ 6 แม่แบบโลหะไร้สนิมด้านล่างมีช่องสำหรับเป็นที่อยู่ของเส้นเอ็นที่ยึดติดกับขึ้นทดสอบ

การหาค่ากำลังความแข็งแรงดึงแบบไดอะเมทรัล และค่ากำลังความแข็งแรงต่อแรงอัด

[Craig 2002, Darvell 2009]

เตรียมขึ้นทดสอบกลุ่มละ 15 ชิ้น สำหรับทดสอบกำลังแรงดึงไดอะเมทรัลจากแม่แบบพอลิเทตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene) ดังรูปที่ 7 ก. ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงในเท่ากับ 6 มิลลิเมตร และสูง 3 มิลลิเมตร วางแม่แบบบนแผ่นแก้วสไลด์ นำวัสดุที่ผสมเสร็จใส่และอัดให้แน่น ปาดส่วนเกินออก ให้ผิวหน้าของวัสดุเสมอขอบของแม่แบบทั้งสองด้าน จากนั้นเก็บขึ้นทดสอบและแม่แบบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator, Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., New Zealand) ที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แกะขึ้นทดสอบออกจากแม่แบบ

ดังรูป 7 ข. แล้วแช่ในน้ำกลั่น อุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ก่อนที่จะนำขึ้นทดสอบ มาทดสอบกำลังแรงดึงไดอะเมทรัลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Lloyd universal testing machine Model LR10K) โดยกำหนดให้ความเร็วของหัวกด (cross-head speed) เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งขึ้นทดสอบเกิดการแตกหัก (รูปที่ 8 ก. และ ข.) บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกมีหน่วยเป็นนิวตัน จากนั้นคำนวณค่ากำลังแรงดึงโดยใช้สูตร

$$DTS = 2P / \pi DT$$

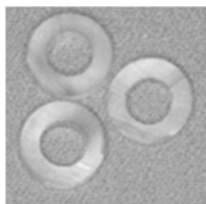
DTS คือ กำลังแรงดึง มีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล

P คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตก มีหน่วยเป็นนิวตัน

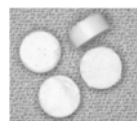
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขึ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

T คือ ความหนาของขึ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

คำนวณข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบการวิเคราะห์ Independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



ก.



ข.

รูปที่ 7 แสดงแม่แบบพอลิเอทเธอร์ฟลูออโรเอทิลีนสำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบเพื่อทดสอบ กำลังแรงดึงไดอะเมทรัล (ก) และขึ้นทดสอบที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว (ข)



ก.



ข.

รูปที่ 8 แสดงชิ้นทดสอบที่ทดสอบกำลังแรงดึงไดอะเมทรัลด้วยเครื่องทดสอบ
เอนกประสงค์ (ก) หลังที่กดและแตกออกเป็น 2 ชิ้น (ข)

ส่วนการทดสอบค่าความทนแรงอัดด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 3107/2004 โดยเตรียมชิ้นทดสอบกลุ่มละ 30 ชิ้น จากแม่แบบโลหะชนิดแยกส่วน (split molds) ที่มีช่องทรงระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และสูง 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 9 ก. วางแม่แบบบนแผ่นแก้วสไลด์ ทาผิวแม่แบบทั้งหมดด้วยเจลกลีเซอริน ใส่วัสดุและอัดให้แน่น ปาดส่วนเกินออก จากนั้น เก็บชิ้นงานในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงแกะชิ้นทดสอบออก ดังรูปที่ 9 ข. และแช่น้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หาความทนแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ด้วยความเร็วของหัวกดเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกมีหน่วยเป็นนิวตัน จากนั้นคำนวณค่าความทนแรงอัดโดยใช้สูตร

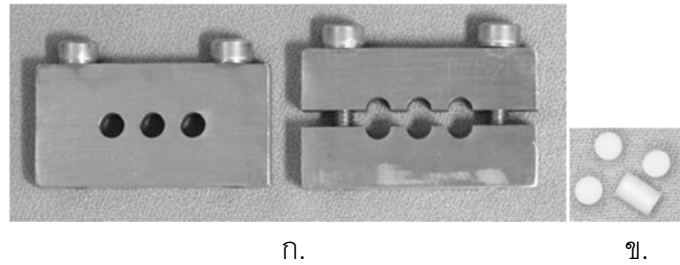
$$C = 4F / \pi d^2$$

โดย C คือ ความทนแรงอัด มีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล

F คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตก มีหน่วยเป็นนิวตัน

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

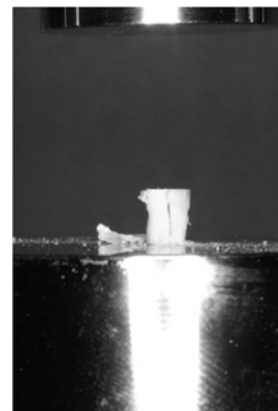
คำนวณค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดของวัสดุอุดฟันชั่วคราวทุกกลุ่มและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ Independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 9 แสดงแม่แบบโลหะชนิดแยกส่วน สำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบเพื่อทดสอบความทนแรงอัด (ก) และขึ้นทดสอบของวัสดุอุดชั่วคราวที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว (ข)



ก.



ข.

รูปที่ 10 แสดงขึ้นทดสอบที่ทดสอบหาค่ากำลังแรงทนแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (ก) หลังจากการกดและแตกออกเป็น 2 ชิ้น (ข)

การศึกษาสมบัติทางชีวภาพโดยการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธีการสัมผัสโดยตรง และวิธีเอ็มทีที

การทดสอบการสัมผัสโดยตรงของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (direct contact of fibroblast)

การทดสอบนี้ได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมของมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขที่ 61/2008

การเตรียมเซลล์ไฟโบรบลาสต์

เซลล์ที่ใช้ในการศึกษาคือ เซลล์ที่เพาะเลี้ยงจากเนื้อเยื่อเหงือกของผู้ป่วยที่มารับการรักษาด้วยวิธีศัลยกรรมที่ภาควิชาปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูปที่ 11) โดยเนื้อเยื่อเหงือกที่นำมาใช้เป็นเนื้อเยื่อเหงือกปกติจากผู้ป่วยไม่จำกัดอายุและเพศ วิธีการใช้การเพาะเลี้ยงเซลล์มีขั้นตอนคือ

เมื่อได้เนื้อเยื่อเหงือกจากผู้ป่วยแล้ว ล้างเนื้อเยื่อให้สะอาดปราศจากเลือดและน้ำลายด้วยน้ำเกลือ จากนั้นนำไปผ่านรังสียูวีที่ระดับความเข้มแสง ที่ช่วงคลื่น 254 นาโนเมตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วตัดเนื้อเยื่อเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร (รูปที่ 12) วางบนจานเพาะเซลล์ที่มีขนาด 35 มิลลิเมตร เติมน้ำยาเลี้ยงเซลล์ให้ท่วมชิ้นเนื้อเล็ก ๆ เหล่านั้น (รูปที่ 13) โดยองค์ประกอบของน้ำยาเลี้ยงเซลล์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของน้ำยาเลี้ยงเซลล์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของ GIBCO BRL, USA

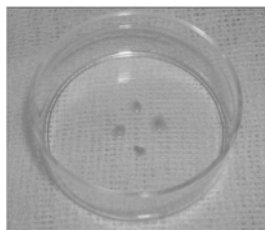
สาร	ปริมาณร้อยละ
DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium)	88
Antibiotics-antimycotics solution	1
L-glutamine	1
Fetal bovine serum	10

เก็บงานเพาะเลี้ยงเซลล์ที่มีชิ้นเนื้อเยื่อเหล่านี้ไว้ในตู้บเพาะเลี้ยงเซลล์โดยปรับอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ทำการเปลี่ยนน้ำยาเลี้ยงเซลล์ทุกวันพร้อมศึกษาลักษณะและพฤติกรรมของเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์เฟสคอน-

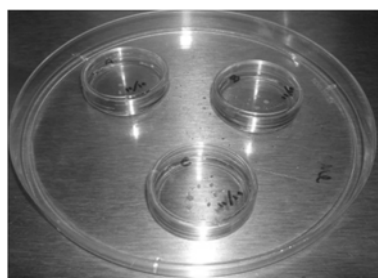
ทราสต์ชนิดหัวกลับโดยประมาณวันที่ 3-7 ของการเพาะเลี้ยงชิ้นเนื้อเยื่อ จะพบว่ามีเซลล์เริ่มคืบคลานออกจากชิ้นเนื้อเยื่อ เซลล์เหล่านี้ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดปะปนกันอยู่ เมื่อเซลล์คลานออกจากชิ้นเนื้อจนหนาแน่นแล้ว จะทำการ “ซัปลัลเจอร์” (subculture) ซึ่งเป็นการย้ายเซลล์ที่หนาแน่น ไปยังจานเพาะเลี้ยงใหม่ในจำนวนที่น้อยลง ประมาณ 10,000 เซลล์ใน 1 มิลลิลิตร ของน้ำยาเลี้ยงเซลล์ การย้ายเช่นนี้นอกจากเป็นการลดความหนาแน่นของเซลล์ชนิดอื่นที่ไม่ใช่เซลล์ไฟโบรบลาสต์ออกด้วย โดยอาศัยหลักการที่ว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์สามารถยึดเกาะติดพื้นผิวของจานเพาะเลี้ยงได้ดีและเร็วกว่าเซลล์ชนิดอื่น การทำซัปลัลเจอร์ทำได้โดยการย่อยโปรตีนที่ช่วยในการยึดเกาะของเซลล์ ด้วยเอนไซม์ trypsin-EDTA ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-10 นาที เซลล์ที่ยึดเกาะอยู่จะหลุดและลอยตัวขึ้นจากพื้นของจานเพาะเลี้ยง หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย trypsin inhibitor แล้วกรองเซลล์ที่ได้ ด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ จากนั้นเหวี่ยงให้เซลล์ตกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงแบบตั้งโต๊ะที่ 2,000 จี เป็นเวลา 5 นาที ศึกษาน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์เก่าที่มีเอนไซม์ผสมอยู่ออก และเปลี่ยนเป็นน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์ใหม่ นับจำนวนเซลล์ที่ได้ จากนั้นใส่ในจานเพาะเลี้ยงเซลล์ใหม่ด้วยความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 10,000 เซลล์ ใน 1 มิลลิลิตรของน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์ เก็บเซลล์เหล่านั้นไว้ในตู้บอและเปลี่ยนน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์ทุกวัน เมื่อทำการซัปลัลเจอร์หลายครั้งพบว่า สามารถทำให้ได้เซลล์ไฟโบรบลาสต์ล้วน เมื่อผ่านไปประมาณรอบที่ 4 หรือรอบที่ 5 ของการทำซัปลัลเจอร์ โดยเซลล์ที่นำมาศึกษาเป็นเซลล์ที่ได้จากการซัปลัลเจอร์รุ่นที่ 5 ถึงรุ่นที่ 8 เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับจะพบว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่มีรูปทรงแบบกระสวย (รูปที่ 14)



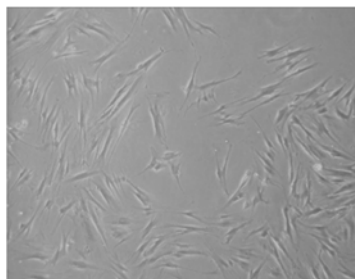
รูปที่ 11 แสดงการตัดเนื้อเหงือกของผู้ป่วยที่ทำศัลยกรรมเหงือก



รูปที่ 12 แสดงเนื้อเยื่อที่ตัดเป็นชิ้นเล็กและวางไว้ในจานเพาะเลี้ยง



รูปที่ 13 แสดงเนื้อเยื่อที่ตัดเป็นชิ้นเล็กและวางไว้ในจานเพาะเลี้ยงที่เติมน้ำยาเลี้ยงเซลล์



รูปที่ 14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์แสดงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ที่มีรูปทรงแบบกระสวย

การเพาะเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์บนแผ่นกลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์

ทำการขึ้นรูปแผ่นกลาสไฮโอโนเมอร์ซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และหนา 1 มิลลิเมตร โดยจากแม่แบบพอลิเทตระฟลูออโรเอทิลีน เก็บชิ้นงานพร้อมแม่แบบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงแกะชิ้นทดสอบออกและนำไปทำการปลดเชื้อโดยผ่านรังสียูวี เป็นเวลา 30 นาที ตัดแผ่นตัวอย่างที่พื้นของจานเพาะเลี้ยงเซลล์ด้วยซี่ผึ้ง

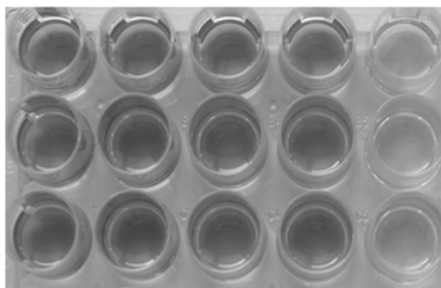
ทางทันตกรรม โดยติดที่พื้นด้านในของจานเพาะเลี้ยง จานละ 1 แผ่น ย้ายเซลล์ที่ได้จากการ
 ฆ่าเซลล์ที่เตรียมไว้ ใส่ลงไปในจานเพาะเลี้ยงที่มีแผ่นยึดด้วยความหนาแน่นประมาณ 30,000
 เซลล์ใน 1 มิลลิเมตรของน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์ ศึกษาลักษณะและพฤติกรรมของเซลล์ด้วยกล้อง
 จุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับเป็นระยะ เป็นเวลา 3, 5 และ 7 วันและกล้องจุลทรรศน์
 อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ทดสอบปฏิกิริยาของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ต่อแผ่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ทำการขึ้นรูปแผ่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หนา 1
 มิลลิเมตร โดยจากแม่แบบพอลิเอทเธอร์ฟลูออโรเอทิลีน ขณะที่ซีเมนต์กำลังก่อตัวใช้เข็มเกจเบอร์ 27
 แทงทะลุผ่านแผ่นตัวอย่าง เก็บชิ้นงานพร้อมแม่แบบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส
 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงแกะขึ้นทดสอบออกและนำไปทำให้ปลอดเชื้อโดยผ่านรังสียูวี เป็นเวลา 30
 นาที จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่มีเข็มเสียบอยู่ใส่ลงในจานหลุม ขนาด 24 หลุม ย้ายเซลล์ที่ได้จากการ
 ฆ่าเซลล์ที่เตรียมไว้ ถ่ายลงในจานชนิด 24 หลุม ด้วยความหนาแน่น 20,000 เซลล์ใน 1 มิลลิเมตร
 ของน้ำยาเพาะเลี้ยงเซลล์ ดังรูปที่ 9 เก็บจานเพาะเลี้ยงเซลล์ไว้ในตู้อบเพาะเลี้ยงเซลล์ที่ อุณหภูมิ
 37 องศาเซลเซียส ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด เป็นระยะเวลา
 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบปฏิกิริยาของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ต่อชิ้นทดสอบด้วยวิธีเอ็มทีที (3-(4,5-
 Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, a yellow tetrazole) เป็นการ
 วิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ เพื่อทดสอบหาเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยเซลล์ที่มีชีวิตจะสามารถใช้
 enzyme succinate dehydrogenase ในไมโทคอนเดรีย ทำปฏิกิริยากับสารเอ็มทีทีซึ่งสีเหลือง
 เปลี่ยนเป็นสารฟอร์มาแซนที่มีสีม่วงน้ำเงิน หลังจากละลายสีภายในเซลล์ด้วย DMSO (Dimethyl
 sulfoxide) จึงทำการวัดหาปริมาณสารฟอร์มาแซน ที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่
 ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร



รูปที่ 15 แสดงแผ่นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เสียบด้วยเข็มและแช่ในยาเลี้ยงเซลล์



รูปที่ 16 แสดงสารเอ็มทีที ที่เปลี่ยนเป็นสารฟอร์มazan ซึ่งมีสีม่วงน้ำเงินก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

ข้อมูลที่ได้ในแต่ละการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนเมื่อพบว่ามี ความแปรปรวนเท่ากัน จึงทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระกัน (Independent t-test)

ผลการศึกษา

หาค่าส่วนการผสมที่เหมาะสมระหว่างสารเทอร์โมโครมิกกับผงฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกต-กลาส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีแล้วสายตาปกติของมนุษย์สามารถแยกแยะได้ โดยการใช้เครื่องเทียบสี ผลของค่า ΔE ของ t-Fuji IX และ t-Ketac Molar แสดงไว้ดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงค่า ΔE ของ t-Fuji IX ที่ผสมด้วยสาร เทอร์โมโครมิกด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ

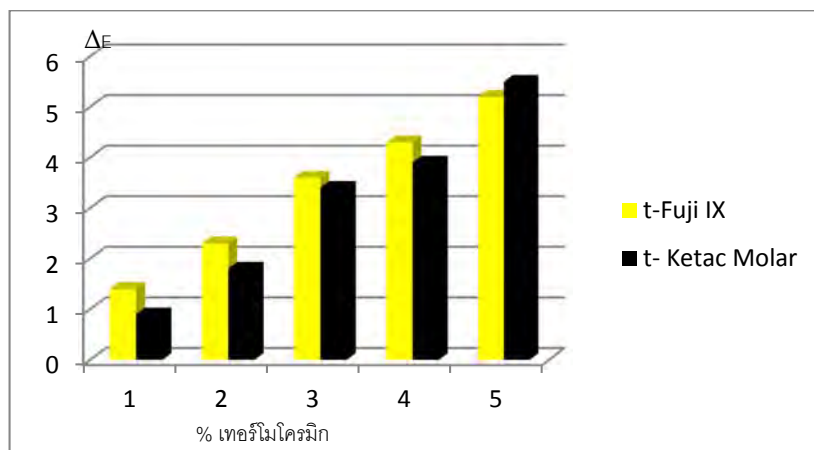
เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 37 องศาเซลเซียสไปเป็น 30 องศาเซลเซียส

ร้อยละโดยน้ำหนักของสาร เทอร์โมโครมิก	ค่า ΔE
1	1.1 (0.06)
2	2.4 (0.97)
3	3.6 (0.36)
4	4.1 (0.26)
5	5.7 (1.06)

ตารางที่ 4 แสดงค่า ΔE ของ t-Ketac Molar ที่ผสมด้วยสารเทอร์โมโครมิกด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 37 องศาเซลเซียสไปเป็น 30 องศาเซลเซียส

ร้อยละโดยน้ำหนักของสารเทอร์โมโครมิก	ค่า ΔE
1	0.9 (0.21)
2	1.8 (0.47)
3	3.4 (1.02)
4	3.9 (0.86)
5	5.6 (1.24)



รูปที่ 17 กราฟแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของสารเทอร์โมโครมิกที่ผสมกับส่วนผงของ
 กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ กับค่า ΔE

การศึกษาพบว่าร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของสารเทอร์โมโครมิก ที่ผสมเข้ากับส่วน
 ผงที่เป็น Fluoroaluminosilicate glass ทั้ง Fuji IX และ Ketac Molar ต่างให้ค่า ΔE ที่มีค่า
 มากกว่า 3.3 หน่วย การเปลี่ยนแปลงของสีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่ออุณหภูมิลดลงจะ
 ปรากฏเป็นสีฟ้าอ่อน ดังรูปที่ 18



ก.

ข.

รูปที่ 18 ชิ้นทดสอบกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ก)
 และที่ 30 องศาเซลเซียส (ข)

ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (initial setting time)

ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของ FujilIX, t-FujilIX, Keatc Molar และ t-ketac Molar แสดงไว้ดังตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของวัสดุกาส

ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ FujilIX และวัสดุกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-FujilIX

วัสดุกาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	Initial setting time (minute)
Fuji IX	3.4 ±1.01
t- Fuji IX	3.7±1.35

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของวัสดุกลาส-ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	Initial setting time (minute)
Ketac Molar	4.5 ±1.26
t-Ketac Molar	4.1±1.35

ปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยในระยะเริ่มต้น

ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของFuji IX, t-Fuji IX, Keatc Molar และ t-ketac Molar แสดงไว้ดังตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นกัน

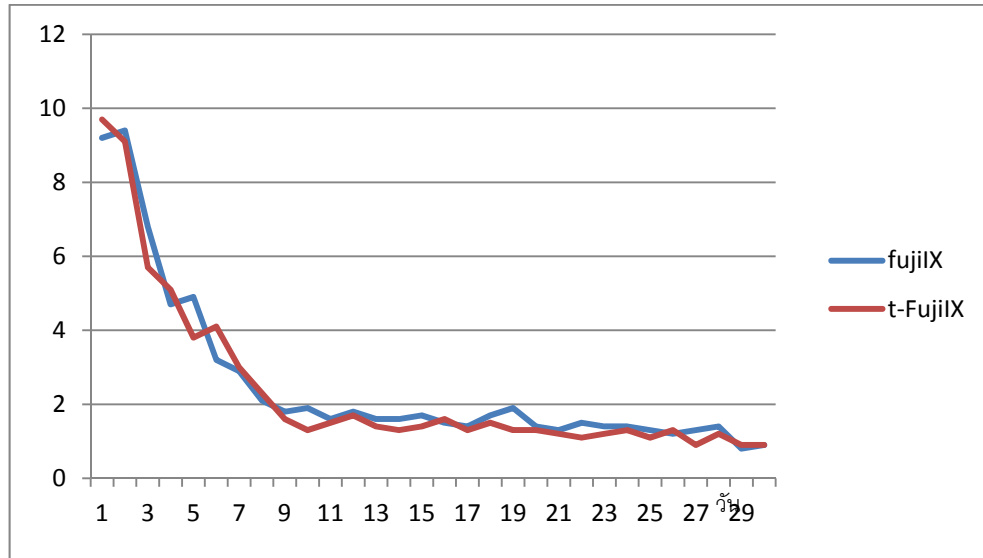
ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX

วันที่	ปริมาณฟลูออไรด์ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	Fuji IX	t-Fuji IX
1	9.2±2.42	9.7±1.62
2	9.4±2.11	9.1± 2.81
3	6.8±2.26	5.7± 1.83
4	4.7±1.61	5.1± 0.98
5	4.9±1.03	3.8± 0.78
6	3.2±0.93	4.1± 0.97
7	2.9±0.70	3.4±0.88
8	2.1±0.45	2.3± 0.69
9	1.8±0.07	1.6± 0.57
10	1.9±0.43	1.3±0.71
11	1.6±0.65	1.5±0.06
12	1.8±0.76	1.7± 0.09
13	1.6±0.06	1.4±0.03
14	1.6±0.04	1.3±0.08
15	1.7±0.14	1.4±0.94
16	1.5± 0.57	1.6±0.42
17	1.4±0.41	1.3±0.23
18	1.7±0.23	1.5± 0.07
19	1.9±0.46	1.3±0.12
20	1.4±0.74	1.3±0.09
21	1.3±0.33	1.2±0.04
22	1.5±0.34	1.1±0.27
23	1.4±0.17	1.2±0.08
24	1.4±0.28	1.3±0.24
25	1.3±0.26	1.1±0.03
26	1.2±0.04	1.3±0.11
27	1.3±0.15	0.9±0.05
28	1.4±0.09	1.2±0.06
29	0.8±0.03	0.9±0.02
30	0.9±0.01	0.9±0.04

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโคโรมิกซ์รอยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar

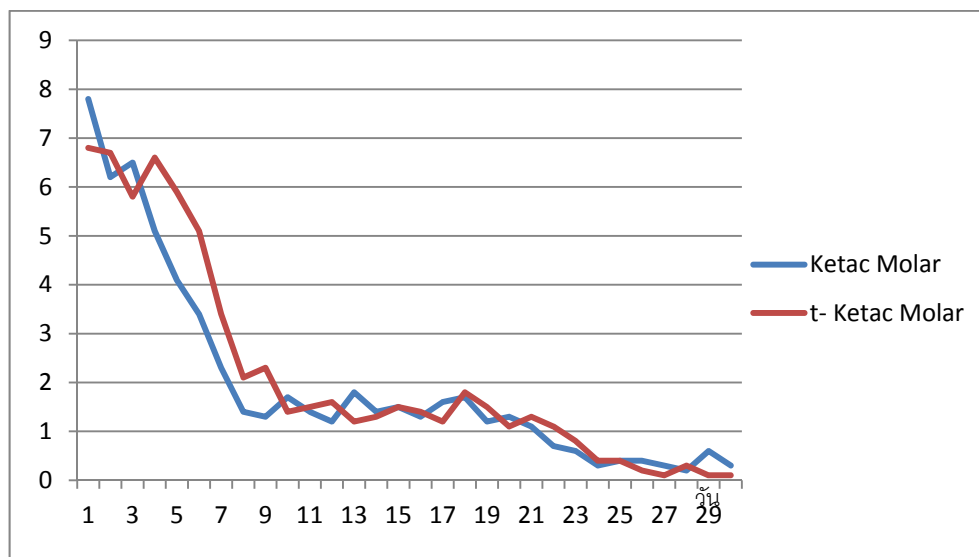
วันที่	ปริมาณฟลูออไรด์ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	Ketac Molar	t-Ketac Molar
1	7.8±1.32	6.8±1.01
2	6.2±1.15	6.7±0.49
3	6.5±0.42	5.8±0.56
4	5.1±0.46	6.6±0.11
5	4.1±0.07	5.9±0.92
6	3.4±0.23	5.1±0.37
7	2.3±0.72	3.4±0.66
8	1.4±0.06	2.1±0.41
9	1.3±0.01	2.3±0.12
10	1.7±0.04	1.4±0.17
11	1.4±0.12	1.5±0.22
12	1.2±0.07	1.6±0.03
13	1.8±0.35	1.2±0.05
14	1.4±0.07	1.3±0.02
15	1.5±0.22	1.5±0.05
16	1.3±0.12	1.4±0.07
17	1.6±0.08	1.2±0.12
18	1.7±0.06	1.8±0.03
19	1.2±0.08	1.5±0.06
20	1.3±0.06	1.1±0.01
21	1.1±0.02	1.3±0.04
22	0.7±0.12	1.1±0.06
23	0.6±0.08	0.8±0.01
24	0.3±0.07	0.4±0.02
25	0.4±0.05	0.4±0.07
26	0.4±0.05	0.2±0.04
27	0.3±0.08	0.1±0.01
28	0.2±0.02	0.3±0.02
29	0.6±0.04	0.1±0.01
30	0.3±0.01	0.1±0.02

ปริมาณฟลูออไรด์ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)



รูปที่ 19 แสดงกราฟการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX ตลอดระยะเวลา 30 วัน

ปริมาณฟลูออไรด์ ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)



รูปที่ 20 แสดงกราฟการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar ตลอดระยะเวลา 30 วัน

ค่าการสลายตัวในน้ำ

ค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวในน้ำของFuji IX, t-FujiIX, Keatc Molar และ t-ketac Molar แสดงไว้ดังตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวในน้ำของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX โดยใช้ t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวในน้ำของ สองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวในน้ำของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลาสไอโอโน เมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดย น้ำหนัก t-Ketac Molar โดยใช้ independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการสลายตัวใน น้ำของสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละการสลายตัวในน้ำของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	ร้อยละการสลายตัวในน้ำ
Fuji IX	3.9 ± 1.54
t- Fuji IX	4.1 ± 1.71

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละการสลายตัวในน้ำของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar

วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์	ร้อยละการสลายตัวในน้ำ
Ketac Molar	2.8 ± 1.72
t-Ketac Molar	2.6 ± 0.98

ค่าความทนแรงดึง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงของกลุ่มตัวอย่างระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX โดยใช้ Independent t-test พบว่าค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงของกลุ่มตัวอย่างระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar โดยใช้ Independent t-test พบว่าค่าเฉลี่ยความทนแรงดึงของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าความทนแรงอัด

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความทนแรงอัดของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

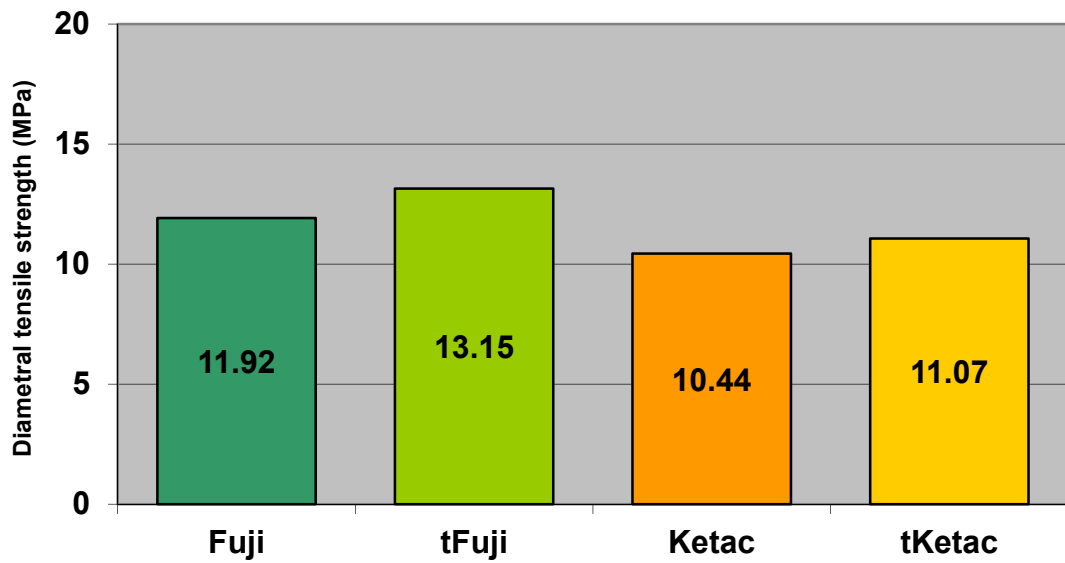
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความทนแรงอัดของกลุ่มตัวอย่างระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar โดยใช้ Independent t-test ทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดของทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนแรงดึง และความทนแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Fuji IX และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Fuji IX

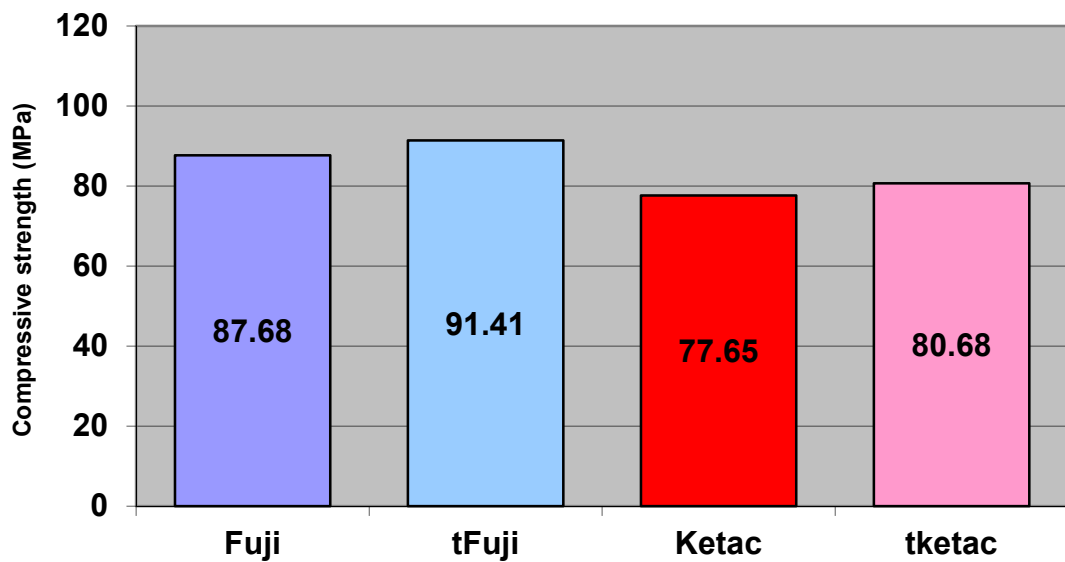
กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	Diametral tensile strength (MPa)	Compressive strength (MPa)
Fuji IX	11.92 \pm 3.71	87.68 \pm 12.27
t- Fuji IX	13.15 \pm 3.35	91.41 \pm 16.32

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนแรงดึง และความทนแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Ketac Molar และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก t-Ketac Molar

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	Diametral tensile strength (MPa)	Compressive strength (MPa)
Ketac Molar	10.44 \pm 2.96	77.65 \pm 15.08
t-Ketac Molar	11.07 \pm 2.35	80.68 \pm 14.94



รูปที่ 21 กราฟแสดงความทนแรงดึงของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

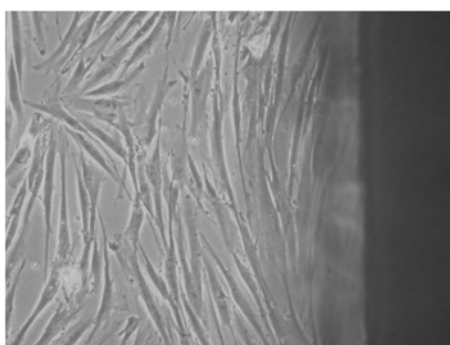


รูปที่ 22 กราฟแสดงความทนแรงอัดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

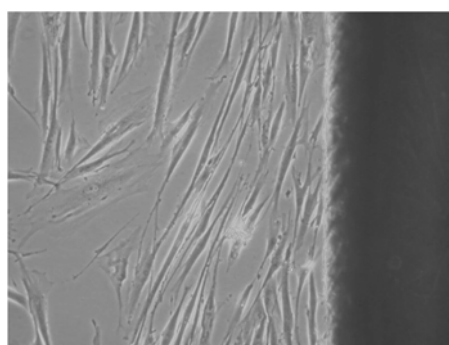
พฤติกรรมการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ และผลทดสอบด้วยวิธีเอ็มทีที

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับวันที่ 7 พบว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้และยังพบว่าเซลล์มีการแนบชิดกับด้านข้างของชิ้นทดสอบ (รูปที่ 23 ก, ข รูปที่ 24 ก, ข) และผลจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะพบเซลล์ไฟโบรบลาสต์กระจายตัวอยู่บนผิวหน้าของชิ้นทดสอบทุกชิ้น (รูปที่ 25)

การทดสอบด้วยวิธีเอ็มทีที โดยวัดหาปริมาณฟอร์มazan ที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร พบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก มีค่า OD แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารเทอร์โมโครมิกที่ผสมเข้ากับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์

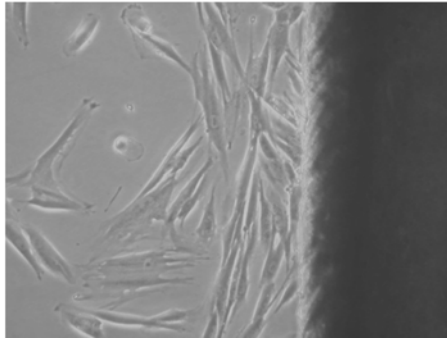


ก.

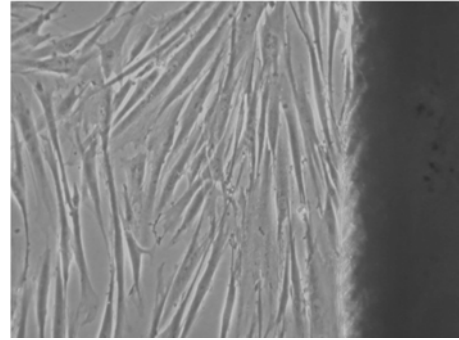


ข.

รูปที่ 23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับแสดงการยึดเกาะของเซลล์ไฟโบรบลาสต์กับวัสดุ ก. Fuji IX ข. t-Fuji IX

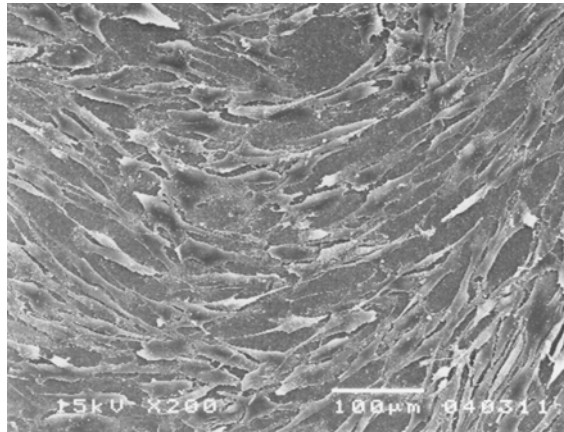


ก.



ข.

รูปที่ 24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับแสดงการยึดเกาะของ
เซลล์ไฟโบรบลาสต์กับวัสดุ ก. Ketac Molar ข. t-Ketac Molar



รูปที่ 25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบเซลล์ไฟโบรบลาสต์กระจายตัวอยู่
บนผิวหน้าของซินทอสอป (t-Ketac Molar)

วิจารณ์

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เป็นซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่อาศัยปฏิกิริยากรด-ด่าง องค์ประกอบหลักของการของซีเมนต์ชนิดนี้จะประกอบด้วยผงแก้วที่มีขนาดเล็กและสามารถละลายด้วยกรดคาร์บอกซิลิกได้ [Anussavic 2003, O'Brien2008, . van Noort 2008, Gladwin 2009, Sakaguch 2012] ซึ่งผงแก้วจึงได้รับการพัฒนาโดยการเติมอะลูมิเนียมเข้าไปในโครงสร้างของแก้ว โดยธาตุอะลูมิเนียมจะไปแทนที่ธาตุซิลิกอนและเกิดพันธะเคมีกับธาตุออกซิเจน นอกจากนี้ผงแก้วชนิดนี้ยังมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ แคลเซียมและฟลูออไรด์ จึงทำให้แก้วชนิดนี้มีชื่อว่า “แคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส แต่มักเรียกว่าเป็น “ฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส”

ขณะที่ส่วนเหลว คือ กรดพอลิคาร์บอกซิลิก หรือกรดพอลิอัลคีนอิก ปริมาณร้อยละ 38.2 โดยกรดนี้จะทำปฏิกิริยากับผงแก้ว กรดพอลิคาร์บอกซิลิกที่ใช้กับซีเมนต์ชนิดนี้ บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นกรดพอลิอัลคีนอิกก็ได้เพราะสายโซ่พอลิเมอร์ของกรดเกิดจากหน่วยย่อย (repeating unit) ที่เป็นกรดคาร์บอกซิลิกที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างธาตุนคาร์บอนกับคาร์บอน (C=C)

เมื่อผสมส่วนผงและส่วนเหลวเข้าด้วยกันปฏิกิริยาการก่อตัวเริ่มจากกรดพอลิคาร์บอกซิลิกที่อยู่ในน้ำแตกตัวให้ประจุบวกซึ่งก็คือ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเข้าไปละลายผิวของผงแก้วและทำลายพันธะระหว่างอะลูมิเนียมและออกซิเจน (aluminium and oxygen bond) ทำให้ ฟลูออไรด์ ไอออน (F^-) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ถูกปลดปล่อยออกมา โดยไอออนที่มีประจุบวกจะวิ่งไปหาประจุลบของไอโอโนเมอร์ และเกิดการเชื่อมสายไอโอโนเมอร์เข้าหากัน (cross link) เนื่องจากแคลเซียมไอออน มีประจุเป็น 2 บวกจึงสามารถจับประจุลบได้ 2 ตำแหน่ง ขณะที่อะลูมิเนียมไอออนจับได้ 3 ตำแหน่ง มีความเชื่อว่าแคลเซียมไอออนจะถูกปลดปล่อยออกมามากและเร็วกว่าอะลูมิเนียมไอออน ดังนั้นในช่วงต้น ๆ ของการก่อตัวสายไอโอโนเมอร์จึงถูกเชื่อมขวางด้วยแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่และเกิดเป็นเกล็ด ที่จะทำให้หน้าที่เป็นเมทริกซ์ต่อไป แต่เกล็ดดังกล่าวสามารถละลายน้ำได้ ส่วนอะลูมิเนียมไอออนที่เกิดการเชื่อมสายไอโอโนเมอร์ได้ 3 ตำแหน่ง และเกิดเป็นเกล็ดอะลูมิเนียมพอลิอัลคีนอิก ที่มีความเสถียรสูงไม่ละลายน้ำ แต่การเกิดเกล็ดชนิดนี้จะสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงหลังเริ่มปฏิกิริยาการก่อตัว ดังนั้นในการศึกษาสมบัติทางกลของซีเมนต์ชนิดนี้จึงต้องเก็บชิ้นทดสอบไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ

ส่วนระยะเวลาการก่อตัวระยะเริ่มแรกจะต้องอาศัยการเชื่อมขวางจากแคลเซียมไอออน [Anussavic 2003, O'Brien2008, van Noort 2008, Gladwin 2009, Sakaguch 2012] จากผลการศึกษาการกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกร้อยละ 3 ค่าระยะเวลาการก่อตัว

เริ่มต้นไม่แตกต่างไปจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดปกติ แสดงว่าสารเทอร์โมโครมิก ไม่รบกวนต่อการเชื่อมขวางของสายโซ่ไอโอโนเมอร์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และสาร เทอร์โมโครมิกไม่ขัดขวางต่อการทำงานของไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ (H^+) ที่เข้าไปละลายผิวของผงแก้วและทำลายพันธะระหว่างอะลูมิเนียมและออกซิเจน (aluminium and oxygen bond) ดังนั้นจึงทำให้มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์เหมือนปกติ จากการศึกษาจะพบว่าปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะมีรูปแบบเดียวกันคือมีปริมาณมากตั้งแต่วันแรกและค่อย ๆ ลดลงทุก ๆ วัน ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่ากลาสไอโอโนเมอร์ มีสมบัติที่สามารถดูดฟลูออไรด์กลับ และปลดปล่อยออกมาได้อีกครั้ง ซึ่งเมื่อวัสดุนี้อยู่ในช่องปากก็จะสามารถแสดงสมบัติดังที่กล่าวมาได้ ดังนั้นกลาสไอโอโนเมอร์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกก็น่าจะมีสมบัตินี้เช่นกัน

สาร เทอร์โมโครมิก “BT-31” ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นผลึกเหลว (liquid crystal) ที่บรรจุอยู่ใน microcapsules จึงทำให้มีลักษณะเป็นผง โดยสารนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส กล่าวคือที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 31 องศาเซลเซียส เป็นวัสดุที่ไม่มีสี (colorless) แต่ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 31 องศาเซลเซียส วัสดุจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สาเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงสีได้เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปนั้นจะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างชั้นในโครงสร้างของผลึกเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นเมื่อมีแสงสว่างตกกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นแสงที่สะท้อนกลับ โดยที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 31 องศาเซลเซียส เกิดการสะท้อนกลับด้วยความยาวคลื่นในช่วงแสงสีน้ำเงิน แต่ที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 31 องศาเซลเซียส แสงที่สะท้อนกลับจะเป็นแสงสีขาว โดยการเปลี่ยนแปลงของสีสามารถผันกลับไปมาได้ ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงว่าสูงหรือต่ำกว่า 31 องศาเซลเซียส การผสมสารเทอร์โมโครมิกเข้ากับส่วนผงฟลูออไรด์อะลูมิเนียมซิลิเกตกลาสแล้วนำไปผสมกับส่วนเหลวคือกรดพอลิอัลคิลีนอิกเพื่อให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์ พบว่าซีเมนต์ยังคงสามารถคงสมบัติการเปลี่ยนแปลงของสีได้แสดงว่าสารเทอร์โมโครมิกชนิดนี้สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดได้และสามารถเข้ากันได้ดีกับกลาสไอโอโนซีเมนต์

สาเหตุที่เลือกการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากสีน้ำเงินเป็นสีที่มองเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับสีของเนื้อฟันที่มีสีเหลือง จึงทำให้ทันตแพทย์สามารถแยกแยะส่วนเนื้อฟันและตัววัสดุอุดได้เป็นอย่างดีส่งผลให้การกรอเนื้อฟันออกมากเกินไปและลดการกรอพลาดออกนอกตัวฟันกรณีที่ต้องร้อยวัสดุอุดฟันออก

การแยกสีที่แตกต่างกันสามารถกระทำได้โดยใช้สายตา (visual color determination) หรือใช้เครื่องมือ (instrumental color analysis) ในระยะแรกการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีใช้ตามนุษย์ในการสังเกต แต่การสังเกตด้วยตาเปล่ามักมีปัญหาเพราะตามนุษย์แต่ละคนจะมีความ

สามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละบุคคล ตาของมนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจน ความสามารถในการมองเห็นสีขึ้นกับแสงและมุมของสายตาคือมองวัตถุที่มีสีและตามนุษย์ไม่สามารถบันทึกหรือบอกค่าที่แน่นอนว่าสีของตัวอย่างนั้นจะซีดจางหรือเข้มไปมากน้อยเพียงใดเมื่อเวลาผ่านไปและสีเดิมเป็นอย่างไร ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ซึ่งช่วยให้บอกความแตกต่างของสีได้ง่ายขึ้น อย่างมีมาตรฐาน และสามารถบอกค่าออกมาเป็นตัวเลข [Yap 1999] โดยปัจจุบันระบบสีที่นิยมในการวัดสี ได้แก่ ระบบสีมันเชล (Munsell) [Craig 2002, Kuehni 2005] ระบบนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดย Albert H. Munsell ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1905 ก่อนที่จะมีการนำเครื่องวัดสีมาใช้ในการวัดสี โดยวัดสมบัติสี 3 ลักษณะ ได้แก่ ฮิว (Hue) คือ สีต่าง ๆ ที่จำแนกแยกแยะได้เป็น แดง เหลือง น้ำเงิน แวลู (value) คือ ความสว่างของสี (lightness) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเลือกสี โครมา (chroma) คือ ความเข้มของสี (color intensity) หรือความอิ่มตัวของสี โดย โครมา จะแสดงปริมาณของฮิวในสีนั้น ๆ

ระบบสี ซีไออี (CIE $L^*a^*b^*$) [Lu 2004, Balderamos 1997] เป็นระบบวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือระบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1931 โดยคณะกรรมการระหว่างชาติว่าด้วยแสงสว่าง (Commission International de l'Eclairage, the French title of the international committee หรือ International Commission on illumination) หลักการพื้นฐานของระบบนี้ พัฒนามาจากขบวนการรับรู้สีของมนุษย์ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกต ระบบสี ซีไออีจะวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งย่อมีชื่อคือ ถึงแม้ว่าวัตถุนั้นสีจะซีดลงเนื่องจากกาลเวลาผ่านไปนานเพียงใดก็ตาม เราก็ยังทราบได้ว่าสีเดิมเป็นอย่างไร และเนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล จึงสามารถลดปัญหาความเห็นที่ไม่ตรงกันได้

ระบบนี้จะแยกสีออกเป็น 3 องค์ประกอบโดยแสดงค่าที่วัดออกมาเป็นตัวเลขในรูปของแกน 3 มิติของ CIE color space โดย L^* เป็นแกนในแนวตั้ง แทนค่าความสว่างของสี (lightness of color) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 (มืด) กับ 100 (สว่าง) a^* , b^* เป็นแกนในแนวราบตั้งฉากกัน โดย a^* แทนตัวแปรสีในแนวแกนแดง-เขียว หากค่า a เป็นบวก (+) สีจะค่อนข้างแดง หาก a เป็นลบ (-) สีจะค่อนข้างเขียว b^* แทนตัวแปรสีในแนวแกนเหลือง-น้ำเงิน หากค่า a เป็นบวก (+) สีจะค่อนข้างเหลือง หาก a เป็นลบ (-) สีจะค่อนข้างน้ำเงิน พบว่า ตัวแปร L^* ในระบบสี CIE จะเทียบได้กับน้ำหนักของสี (value) ในระบบสีมันเชลล์ สำหรับค่า a^* , b^* จะมีความสัมพันธ์กับฮิว และโครมาค่าที่ได้จากระบบสี CIE สามารถนำมาคำนวณหาผลต่างของสี (ΔE) ระหว่างสีทดสอบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานได้ตามสูตร

$$\Delta E = [(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2]^{1/2}$$

L^*_2, a^*_2, b^*_2 แทนค่า $L^*a^*b^*$ ที่วัดได้จากตัวอย่างมาตรฐาน

L^*_1, a^*_1, b^*_1 แทนค่า $L^*a^*b^*$ ที่วัดได้จากตัวอย่างที่ทำการทดลอง

จากการศึกษาของ Seghi และคณะ(1989) ถ้าผลต่างของสีมากกว่าหรือเท่ากับ 1 หน่วย พบว่ามีผู้สังเกตเห็นหนึ่งจากจำนวนผู้สังเกตทั้งหมดสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ Ruyter และคณะ (1982) ทำการศึกษาคอมโพสิตเรซิน พบว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นได้ในทางคลินิกต้องมีผลต่างของสีมากกว่าหรือเท่ากับ 3.3 หน่วย ดังนั้นวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ก็เช่นกัน หากมีสีที่แตกต่างไปจากเดิม ($\Delta E > 3.3$) ก็สามารถทำให้ทันตแพทย์หรือนิสิตสามารถแยกแยะระหว่างเนื้อฟันกับตัววัสดุได้ ซึ่งจะช่วยให้ลดการกรอเนื้อฟันที่มากเกินไป และยังลดการกรอพลาดออกนอกคลองรากฟันในกรณีที่ทำกรอวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ขณะเตรียมคลองรากฟันเพื่อใส่เดือยฟัน โดยแค่เพียงลดอุณหภูมิของวัสดุด้วยการฉีดน้ำเท่านั้น ดังรูป



ก.

ข.

ค.

รูปที่ 26 การอุดทางเข้าของคลองรากฟันด้วยวัสดุกระจกใสไอโอโนเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้

ก. ฟันที่ได้รับการอุดคลองรากฟันเสร็จแต่ยังไม่ได้อุดปิดทางเข้าคลองรากฟัน

ข. อุดปิดรูเปิดทางเข้าคลองรากฟันด้วยกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักและอยู่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ค. เมื่อลดอุณหภูมิของกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยการใช้น้ำเย็นฉีดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน

วัสดุอุดฟันชั่วคราวในงานวิจัยนี้ทดสอบความทนแรงดึงแบบไดอะเมทรัลซึ่งเป็นการทดสอบความทนแรงดึงทางอ้อมเหมาะสมกับวัสดุที่มีลักษณะแข็งเปราะดังเช่นวัสดุประเภทกระจกใสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยที่แรงดึงจะอยู่บริเวณส่วนกลางมากที่สุด วัสดุจะเกิดการแตกหักโดยแตก

จากบริเวณส่วนกลางของชั้นทดสอบบันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก จากนั้นนำไปคำนวณตามสูตรก็จะได้ค่าความทนแรงดึงของวัสดุ ส่วนค่าความทนแรงอัดของวัสดุที่ใช้อุดฟันเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุนั้น ๆ ที่สามารถทนต่อแรงอัด ก่อนที่จะเกิดการแตกออกโดยมีความสัมพันธ์กับวัสดุที่บรรจุในโพรงฟันที่มีผนังด้านข้างโอบล้อมทั้ง 4 ด้าน เช่น โพรงฟันประเภทที่หนึ่ง (cavity class I) แต่ในกรณีที่มีวัสดุอุดถูกบรรจุในโพรงฟันที่มีผนังด้านข้างโอบล้อมไม่ครบทั้ง 4 ด้าน เช่น โพรงฟันประเภทที่สอง (cavity class II) และเมื่อได้รับแรงบิดเดียว จะเกิดแรงกระทำที่ชั้นวัสดุ 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ เกิดแรงอัด (compression force) ณ ด้านที่ติดกับผนังฟันที่โอบขึ้นวัสดุไว้ และเกิดแรงดึง (tensile force) ณ ด้านที่ปราศจากผนังโอบล้อม เมื่อแรงที่กระทำบนชั้นวัสดุมีปริมาณเกินขีดความสามารถของวัสดุที่จะทนได้ ชั้นวัสดุก็จะเกิดการแตกหักเป็นสองส่วน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทดสอบวัสดุด้วยวิธีการดึง (tensile test) แต่วัสดุที่มีความเปราะและแตกหักง่ายไม่สามารถใช้วิธีการทดสอบหาค่ากำลังแรงดึงแบบวิธีโดยตรง (direct tensile strength test) ได้ จึงต้องใช้วิธีทางอ้อม (indirect tensile strength test) ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่ากำลังแรงดึงโดอะเมทริล ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการทดสอบหาค่าความทนแรงดึงและความทนแรงอัดของวัสดุอุดฟันชั่วคราว เพื่อให้ครอบคลุมการอุดในโพรงฟันทั้งชนิดที่มีผนังโอบล้อมครบและไม่ครบทั้ง 4 ด้าน

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีสมบัติที่ดีของการเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้นอาจมีสาเหตุจากการที่ซีเมนต์ชนิดนี้มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกา อะลูมินา แคลเซียม ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ ซึ่งธาตุสองตัวหลังนี้เป็นธาตุที่พบได้ในกระดูกและฟันเช่นกัน Leyhausen และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาการเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยการเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์กับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลายชนิดพบว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional glass ionomer cement) ไม่มีผลยับยั้งต่อการเจริญเติบโตของเซลล์

การศึกษากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกนี้ โดยดูการเจริญเติบโตของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์ชนิดหัวกลับและกล้องจุลทรรศน์เล็กรอนชนิดส่องกราดต่างพบว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์มีรูปร่างเป็นกระสวยและแพร่กระจายอยู่บนผิวหน้าของซีเมนต์ ซึ่งให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับการศึกษาของ Oh และคณะ (2010)

การศึกษานี้ได้เลือกใช้เซลล์ไฟโบรบลาสต์จากเนื้อเยื่อคนเนื่องจากหาได้ง่ายและวิธีการเลี้ยงไม่ยุ่งยากอีกทั้งยังเป็นเซลล์ที่พบได้ในช่องปากของมนุษย์ ส่วนการทดสอบการเข้ากันได้ทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) เป็นวิธีการที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก สะดวกและรวดเร็ว สามารถใช้คัดกรองความเป็นพิษของวัสดุเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี โดยเลือกวิธีเอ็มทีที ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผล

ในเชิงปริมาณเพื่อทดสอบหาเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยเซลล์ที่มีชีวิตจะสามารถใช้ enzyme succinate dehydrogenase ในไมโตคอนเดรียทำปฏิกิริยากับสารเอ็มทีทีซึ่งมีสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสารฟอร์มาแซนที่มีสีม่วงน้ำเงิน หลังจากละลายสีภายในเซลล์ด้วย DMSO แล้ว จึงทำการวัดหาปริมาณฟอร์มาแซนที่เกิดขึ้น โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ดังนั้นการที่สารละลายมีสีม่วงเข้มแสดงว่ามีปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตอยู่มากกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายสีม่วงจาง ๆ จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ใช้ทั้งวิธีการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อลักษณะรูปร่างของเซลล์ขณะเจริญเติบโต และใช้วิธีเอ็มทีทีเพื่อหาปริมาณของเซลล์ ต่างให้ผลที่สอดคล้องกันคือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก ด้วยปริมาณร้อยละ 3 ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์

ดังนั้นการพัฒนาวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกเพื่อให้สามารถเปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปและยังสามารถผันกลับได้ เมื่ออุณหภูมิกลับสู่สภาวะปกติ กล่าว คือ ณ สภาวะอุณหภูมิในช่องปากวัสดุชนิดนี้จะมีสีเหมือนฟันเพื่อความสวยงาม แต่วัสดุนี้จะมีการเปลี่ยนสีจากสีเหมือนฟันไปเป็นสีใหม่ที่สายตามนุษย์สามารถแยกแยะได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อชนิดทันตแพทย์และทันตแพทย์ในการที่เตรียมคลองรากฟันเพื่อใส่เดือยฟัน เพราะสามารถกรอหรือออกได้ง่ายและยังช่วยป้องกันความผิดพลาดในการทำงานได้ เช่นเกิดการเจาะทะลุผนังคลองรากฟันได้อีกด้วย

สรุป

1. สารเทอร์โมโครมิก ที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในรูปผงและผสมเข้ากับผงฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตกลาสในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ เมื่อลดอุณหภูมิจาก 37 องศาเซลเซียส ไปเป็น 30 องศาเซลเซียส โดยทำให้ค่า ΔE มีค่ามากกว่า 3.3 หน่วย
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น การละลายตัวในน้ำ การปลดปล่อยฟลูออไรด์ในระยะเริ่มต้นของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ปกติ
3. ทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ค่ากำลังความแข็งแรงดึงแบบไดอะเมทรัล และค่ากำลังความแข็งแรงต่อแรงอัดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าไม่แตกต่างจากกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ปกติ

4. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์

เอกสารอ้างอิง

1. Algela TJ, Kleverlaan CJ, PrahI-Andersen B, Feilzer AL. The influence of environmental conditions on the material properties of setting glass ionomer cements. *Dental Material* 2006;22:852-6.
2. Anussavic KJ. Phillips' Science of Dental Materials. 11th ed. Philadelphia:W.B. Saunders Co., 2003.
3. Balderamos LP, O'Keefe KL, Powers JM. Color accuracy of resin cements and try-in pastes. *International Journal Prosthodontics*.1997;10:111-5.
4. Billington RW, Pearson GJ, Williams JA. Uptake of fluoride ions by glass component of glass ionomer cement. *Journal of Dentistry* 2007;35:452-5.
5. Chailertvanitkul P, Saunders WP, Saunders EM, MacKenzie D. An evaluation of microbial coronal leakage in the restored pulp chamber of root-canal treated multi-rooted teeth. *International Endodontic Journal* 1997;30:318-22.
6. Chu SJ, Devigus A, Mieleszko A. Fundamentals of Color Shade matching and Communication in Esthetic Dentistry. Chicago, Quintessence Publishing Co, Inc, 2004.
7. Craig RG, Power JM. Restorative dental materials.11th ed., The C.V. Mosby Company Inc,St. Louis. 2002.
8. Darvell BW. Materials Science for Dentistry. 9th ed. New Delhi: Woodhead Publishing Ltd, 2009.
9. Davis, B.A., Friedl, K.H. and Powers, J.M. Color stability of hybrid ionomers after accelerated aging, *Journal of Prosthodontics*.1995;4:111-5.
10. Forsten L. Fluoride release of glass ionomers. *J Esthet Dent* 1994;6:216-22.
11. Gladwin M, Bagby M. Clinical Aspects of Dental Materials: theory, practice, and cases, 3rd ed. Philadelphia, Lippincott William & Wilkins, 2009.

12. Jack RM, Goodell GG. In vitro comparison of coronal microleakage between resilon alone and gutta-percha with a glass- ionomer intraorifice barrier using a fluid filtration model. *Journal of Endodontics* 2008;34:718-20.
13. Kuehni RF. *Color : an introduction to practice and principles*. 2th ed., Wiley-Interscience, New Jersey., 2005.
14. Lorente-Cattani MA, Dupuis V, Moya F, Payan J, Meyer JM. Comparative study of physical properties of a polyacid-modified composite resin and resin-modified glass ionomer cement. *Dental Materials* 1999;15:21-32.
15. Leyhausen G, Abtahi M, Karbakhsch M, Sapotnick A, Geurtsen W. Biocompatibility of various light-curing and one conventional glass-ionomer cement. *Biomaterials*.1998;19:559-64.
16. Lu H, Powers JM. Color stability of resin cements after accelerated aging. *The American Journal of Dentistry*. 2004;17:354-8.
17. Malonaey S, McClanaban S, Goodell G. The effect of thermocycling on a colored glass ionomer intracoronary barrier. *Journal of Endodontics* 2005;31:526-8.
18. Mavec JC, McClanaban SB, Minab GE, Johnson JD, Blundell RE. Effects of an intracanal glass ionomer barrier on coronal microleakage in teeth with post space. *Journal of Endodontics* 2006;32:120-2.
19. McCabe JF, Carrick TE, Sidhu SK. Determining low levels of fluoride released from resin based dental materials. *European Journal of Oral Sciences* 2002;110:380-4.
20. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials* 1998;19:485-94.
21. O'Brien WJ. *Dental Materials and Their selection*. 4th ed. Chicago: Quintessence Publishing Co., 2008.
22. Oh MJ et al., Biocompatibility of experimental mixture of mineral trioxide aggregate and glass ionomer cement. *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry*.2010;35:359-66.

23. Paravina RD, Powers JM. Esthetic color training in dentistry St.Louis, Elsevier Mosby, 2004.
24. Pegoraro TA, da Silva N R.F.A, Carvalho RM. Cements for use in esthetic Dentistry. *Dental Clinics North America* 2007;51:453-71.
25. Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontologica Scandinavica* 1982;40:179-92.
26. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th ed. Philadelphia: Elsevier Mosby, 2012.
27. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *Journal of Dental Research* 1989;68:1760-4.
28. Seiler KB. An evaluation of glass ionomer -based restorative materials as temporary restoratives in endodontics. *General of Dentistry* 2006;54:33-6.
29. Setz J, Engel E. In vivo color stability of resin-veneered telescopic dentures: a double blind pilot study. *Journal of Prosthetics Dentistry* 1997;77:486-91.
30. Stober T, Gilde H, Lenz P. Color stability of highly filled composite resin materials for facings, *Dental Materials* 2001;17:87-94.
31. Tjandrawinata R, Irie M, Yoshida Y, Suzuki K. Effect of adding spherical silica filler on physico-mechanical properties of resin modified glass ionomer cement. *Dental Materials Journal* 2004;23:146-54.
32. van Noort R. *Introduction to Dental Materials*. 3rd ed. Saint Louis: The CV. Mosby Company, 2008.
33. Vermeersch G, Leloup G, Vreven J. Fluoride release from glass-ionomer cements, compomers and resin composites. *Journal of Oral Rehabilitation* 2001;28:26-32.
34. Williams JA, Billington RW, Pearson GJ. The glass ionomer cement: the source of soluble fluoride. *Biomaterials* 2002;23:2191-200.
35. Wolcott JF, Hicks ML, Himel VT. Evaluation of pigmented intraorifice barriers in endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics* 1999;25:589-92.

36. Xie D, Yang Y, Zhao J, Park JG, Zhang JT. A novel comonomer-free light cured glass-ionomer cement for reduced cytotoxicity and enhanced mechanical strength. *Dental Materials* 2007;23:994-1003.
37. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-reducing materials. *Biomaterials* 2003;24:2451-61.
38. Yap AU, Sim CP, Loh WL, Teo JH. Human-eye versus computerized color matching. *Operative Dentistry* 1999; 24:358-63.