

ความแข็งแรงของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดต่างๆ



นางสาวพิมพ์มาดา เกษรัักษ์

# ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SURFACE HARDNESS OF LIGHT-CURED RESIN CEMENT POLYMERIZED UNDER  
DIFFERENT CERAMIC DISCS



Miss Pimmada Kesrak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Operative Dentistry  
Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

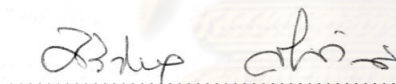
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความแข็งแรงผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงภายใต้  
ขึ้นงานเซรามิกชนิดต่างๆ  
โดย นางสาวพิมพ์มาดา เกษรักษ์  
สาขาวิชา ทันตกรรมหัตถการ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ เฉลิมพล ลีไวยโรจน์

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

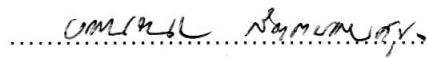
  
..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง วิชราภรณ์ ทัศนจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิงดอกเตอร์ ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ เฉลิมพล ลีไวยโรจน์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิงดอกเตอร์ รังสิมา สุกถณะมรรคา)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ทันตแพทย์ดอกเตอร์ วรณธนะ สัตตบรรณชุษ)

พิมพ์มาดา เกษรักษ์ : ความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงภายใต้  
ชั้นงานเซรามิกชนิดต่างๆ (Surface hardness of light-cured resin cement  
polymerized under different ceramic discs) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
รศ.ทพ. เฉลิมพล ลีไวโรจน์, 107 หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบความเข้มแสงที่สามารถผ่านชั้นงานเซรามิกชนิดและ  
ความหนาต่างกันและเพื่อศึกษาค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2  
ผลิตภัณฑ์ ที่บ่มตัวภายใต้ชั้นงานเซรามิก ชนิดต่าง ๆ โดยเตรียมชั้นงานเซรามิกไอพีเอสอี  
แมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงและชนิดความทึบแสงสูง และเซรามิกเซอร์คอน ขนาดเส้น  
ผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร วัดความเข้มแสงของ  
เครื่องฉายแสงแอลอีดีด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสี และเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงกับกลุ่ม  
ทดลองซึ่งวัดค่าความเข้มแสงเมื่อฉายแสงผ่านชั้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ จากนั้นเตรียมชั้น  
ตัวอย่าง เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ผลิตภัณฑ์ คือ วาริโอลิงควิเนียร์และเน็กซ์สทีร์  
โดยใช้กลุ่มควบคุม 2 กลุ่ม คือชั้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับแสงโดยตรงจาก  
เครื่องฉายแสง กลุ่มทดลอง 24 กลุ่ม คือชั้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์ ที่บ่มตัวภายใต้  
ชั้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่าง ๆ กัน เก็บชั้นตัวอย่างไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา  
24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวัดความแข็งผิวด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาคโดยใช้หัว  
กดรูปขนาดแรงกด 50 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที 3 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าความแข็ง  
ผิวของชั้นตัวอย่างนั้น วิเคราะห์ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่  
ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มแสงที่ฉายแสงผ่านชั้นงานเซรามิกมีค่า  
ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ชนิดของเซรามิก และความหนาของเซรามิกมีผลต่อค่าความ  
เข้มแสงของเครื่องฉายแสงที่ฉายแสงผ่านชั้นงาน ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัว  
ด้วยแสงที่บ่มตัวภายใต้ชั้นงานเซรามิก ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ ชนิดของเซรามิก  
ความหนาและความทึบแสงของเซรามิก

ภาควิชา...ทันตกรรมหัตถการ.... ลายมือชื่อนิสิต..... พิมพ์มาดา เกษรักษ์  
สาขาวิชา..ทันตกรรมหัตถการ.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา 2552



# # 517 61236 32: MAJOR OPERATIVE DENTISTRY

KEYWORDS : CERAMIC THICKNESS / DENTAL CERAMIC / LIGHT INTENSITY /  
RESIN CEMENT / SURFACE HARDNESS

PIMMADA KESRAK: SURFACE HARDNESS OF LIGHT-CURED RESIN  
CEMENT UNDER DIFFERENT CERAMIC DISCS. THESIS ADVISOR: Assoc.  
PROF. CHALERMPOL LEEVAILOJ, 107 pp.

The present study aimed to compare the light intensity transmitted through ceramic discs and evaluate the surface hardness of two light-cured resin cements polymerized under ceramic discs of differing characteristics. Ceramic disc 1.0 mm in diameter and 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 thick were prepared from IPS e.max<sup>®</sup> Press high translucency (HT), IPS e.max<sup>®</sup> Press high opacity (HO) and Cercon<sup>®</sup>. The light intensity from an LED light curing unit was measured by a radiometer and compared to the light intensity of experimental groups which measured after transmitted through different ceramic discs. The light-cured resin cement specimens were prepared from Variolink<sup>®</sup> Veneer (high value +3) and NX3 Nexus<sup>®</sup> Third Generation (white opaque). The 2 control groups were 2 types of resin cement which were directly activated by the LED light curing unit and the 24 experimental groups were 2 types of resin cement light activated through different ceramics types and thicknesses. Knoop hardness measurements were obtained with 50 grams-forces for 15 seconds. Three indentations were made and the mean indentation depth was calculated for each specimen. The data were analyzed statistically at 0.05 significant level. The light intensity transmitted through the different ceramics discs was lower than that of the control group. Both ceramic type and thickness had a significant impact on the intensity of light transmitted through ceramic disc. The surface hardness of light-cured resin cement polymerized under different ceramic discs depended on type of resin cement, type, thickness and opacity of ceramic.

Department : ..... Operative Dentistry ..... Student's Signature ..... *พิมมดา เกสรัก*  
Field of Study : ..... Operative Dentistry ..... Advisor's Signature ..... *Chalermpol Leevailoj*  
Academic Year : ..... 2009 .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันและผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังรายนามต่อไปนี้  
ขอขอบพระคุณ รศ.ทพ. เฉลิมพล ลีไวโรจน์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการ ศึกษา ค้นคว้า วิจัยและจัดทำ  
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้  
คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

อาจารย์สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนจริยธรรมให้แก่ข้าพเจ้า

อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นสถานที่ให้ความรู้ อบรมจริยธรรม  
และปลูกจิตสำนึกที่ดีแก่ข้าพเจ้า

บิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมสั่งสอนและให้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่กำเนิด

เพื่อน พี่ น้อง ทันตแพทย์ในที่ทำงาน และในคณะทันตแพทยศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ  
และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	46
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1:	ระบบของวัสดุเซรามิกและข้อบ่งชี้ในการใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต.....	22
ตารางที่ 2:	การศึกษาต่าง ๆ เกี่ยวกับการวัดความแข็งผิวแบบนูนของเรซินซีเมนต์.....	26
ตารางที่ 3:	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษา.....	29
ตารางที่ 4:	ค่าเฉลี่ยค่าความเข้มแสงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน.....	36
ตารางที่ 5:	ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ KHN ± S.D.....	39
ตารางที่ 6:	ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์วาริโอลิงควี่เนียร์ที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน KHN ± S.D.....	41
ตารางที่ 7:	ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์เน็กซ์สทีที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน KHN ± S.D.....	42



## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1ก: เครื่องวัดพลังงานรังสี Optilux radiometer และ L.E.D. radiometer.....	9
ภาพที่ 1ข: เครื่องฉายแสง Optilux 501.....	9
ภาพที่ 2: ความยาวคลื่นแสงของแสงจากเครื่องฉายแสงชนิดต่าง ๆ และความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดต่าง ๆ .....	12
ภาพที่ 3ก: ลักษณะของห้วงกอดและรอยกอดของการวัดความแข็งแบบนूप.....	24
ภาพที่ 3ข: ภาพจำลองรอยกอดที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแบบนूप.....	24
ภาพที่ 4: แผนภูมิแสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย.....	31
ภาพที่ 5: แผนภาพแสดงวิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์.....	32
ภาพที่ 6: แผนภาพแสดงตำแหน่งการวัดความแข็งผิว.....	34
ภาพที่ 7: กราฟแสดงค่าความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน.....	37
ภาพที่ 8: ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์วาริโอดิงควีเนียร์.....	44
ภาพที่ 9: ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์เน็กซ์สทรี.....	44
ภาพที่ 10: ลักษณะวัสดุอุดแทรกของวาริโอดิงควีเนียร์.....	45
ภาพที่ 11: ลักษณะวัสดุอุดแทรกของเน็กซ์สทรี.....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ผู้ป่วยจำนวนมากต้องการรับบริการงานทันตกรรมบูรณะเพื่อความสวยงาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานบูรณะชนิดเซรามิกล้วน ทั้งครอบฟัน อินเลย์ ออนเลย์ หรือวีเนียร์ ทำให้มีการพัฒนาเซรามิกทางทันตกรรมในระบบต่าง ๆ เซรามิกทางทันตกรรมจึงมีคุณสมบัติที่ดีมากขึ้น มีความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติ มีความแข็งแรง และมีอายุการใช้งานนาน นอกจากนี้คุณสมบัติของเซรามิกแล้ว อายุการใช้งานของงานบูรณะเซรามิกยังเป็นผลจากการยึดติดชิ้นงานบูรณะกับฟันด้วย โดยทั่วไปทันตแพทย์จะใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับสารยึดติดทางทันตกรรม ทำให้งานบูรณะชนิดเซรามิกล้วนมีความแข็งแรง ส่งผลให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น และมีความสวยงามเนื่องจากเรซินซีเมนต์มีสีเหมือนฟัน เมื่อใช้ได้เซรามิกที่เป็นวัสดุโปร่งแสงจึงสามารถสะท้อนให้เห็นสีของเรซินซีเมนต์ได้ และยังมีเรซินซีเมนต์ชนิดที่ใช้ปิดสีฟันคล้ำเพื่อให้สีฟันส่งผลต่อสีชิ้นงานน้อยที่สุด ดังนั้นการใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดชิ้นงานเซรามิกจึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง

เรซินซีเมนต์มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับวัสดุเรซิน คอมโพสิต คือมีกลุ่มเมทาไครเลต (methacrylate) หรือ บิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) เป็นองค์ประกอบหลัก เรซินซีเมนต์มีทั้งชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical-cured) ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light-cured) และชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ (dual-cure) ซึ่งเกิดพอลิเมอร์ได้ทั้งจากปฏิกิริยาเคมีและแสง<sup>[1]</sup> และมีกลไกการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสงเช่นเดียวกับเรซิน คอมโพสิต

เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีการใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) เป็นส่วนประกอบ โดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบกลุ่มไดคีโตน (diketone) ซึ่งสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือ แคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) วัสดุจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเมื่อได้รับแสง เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทำให้ทันตแพทย์มีเวลาทำงานที่ควบคุมได้ และเนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ต้องผสม ทำให้ลดโอกาสที่อากาศเข้ามาในเนื้อวัสดุ ลดโอกาสการเกิดฟองอากาศลดการติดสีของวัสดุ<sup>[2]</sup> แต่อย่างไรก็ดีเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีข้อจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน คือวัสดุทั้งหมดต้องได้รับแสงที่เพียงพอตลอดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้เรซินซีเมนต์อาจเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์เมื่อใช้งานในบริเวณที่แสงเข้าไม่ถึง เช่น ในโพรงฟันลึก ๆ โพรงฟันด้านใกล้เหงือก หรือมีความหนาของ

ชิ้นงานบรูณะมาก เรซินซีเมนต์ที่เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์จะส่งผลต่อคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและชีวภาพของวัสดุ<sup>[3]</sup> เช่น ความแข็งแรงลดลง<sup>[4]</sup> การลดลงของเสถียรภาพของสีวัสดุ (color stability)<sup>[5]</sup> การรั่วซึมตามขอบของวัสดุ ความเป็นพิษของวัสดุเนื่องจากมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา<sup>[6]</sup> และทำให้กำลังแรงยึดของชิ้นงานและฟันลดลง อาจส่งผลให้อายุการใช้งานของวัสดุบรูณะลดลง

แสงที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต้องมีความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง มีการกระจายแสงในช่วงความยาวคลื่นนั้นมากที่สุด ซึ่งแคมฟอร์ควิโนนจะถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงกว้าง คือ 375-500 นาโนเมตร โดยความยาวคลื่นที่กระตุ้นให้มีการดูดกลืนแสงของแคมฟอร์ควิโนนได้ดีที่สุดคือ 468-470 นาโนเมตร<sup>[7, 8]</sup> นอกจากนี้ควรมีความเข้มแสงที่มากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแสงมีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของเครื่องฉายแสง ระยะเวลาในการฉายแสง ขนาดของปลายหลอดนำแสง ระยะห่างระหว่างปลายหลอดนำแสงของวัสดุ อายุการใช้งานของเครื่องฉายแสง และวัสดุที่กั้นขวางทิศทางแสง

วัสดุที่กั้นขวางทิศทางแสงมีผลทำให้ความเข้มแสงลดลง เนื่องจากวัสดุจะดูดกลืนแสงและกระจายแสงบางส่วนออกไป ในการใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานเซรามิก มีหลายการศึกษาที่รายงานว่าเมื่อแสงผ่านชิ้นงานเซรามิก ความเข้มแสงจะลดลง<sup>[9-11]</sup> ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น โครงสร้างผลึก (crystalline structure) ของเซรามิกแต่ละชนิด ความหนาของเซรามิกที่เพิ่มขึ้น<sup>[9]</sup> และสีของเซรามิก<sup>[11, 12]</sup> ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะรบกวนการกระจายตัวของแสง ส่งผลให้ความเข้มแสงลดลง และอาจทำให้แสงไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ ในการศึกษาเรื่องความเข้มแสงกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงภายใต้ชิ้นงานเซรามิกยังมีน้อย อีกทั้งมีการพัฒนาเซรามิกอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นที่น่าสนใจและเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ คือ ต้องการศึกษถึงความเข้มแสงที่ผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ ได้ และมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงที่สามารถผ่านชิ้นงานเซรามิก 2 ชนิดที่มีความหนาต่างกัน

2. เพื่อศึกษาค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ผลิตภัณฑ์ ที่บ่มตัวภายใต้ชั้นงานเซรามิก 2 ชนิดที่มีความหนาต่างกัน

### สมมติฐานของงานวิจัย

1. ปริมาณความเข้มแสงที่สามารถผ่านชั้นงานเซรามิกที่มีความหนาต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน
2. ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ผลิตภัณฑ์ ที่บ่มตัวใต้ชั้นงานเซรามิกที่มีความหนาต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกัน
3. ชนิดและความหนาของเซรามิกไม่มีผลต่อค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (experimental research) โดยศึกษาปริมาณความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี เมื่อมีวัสดุเซรามิกชนิดและความหนาต่างกันกั้นขวางทิศทางแสง และศึกษาระดับการเกิดพอลิเมอร์ ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ผลิตภัณฑ์ ที่ได้รับแสงผ่านชั้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน ด้วยการทดสอบความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ทันตแพทย์ผู้ปฏิบัติงานในการวิจัยครั้งนี้ได้รับการฝึกหัดจนมีความรู้และความชำนาญในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง กระบวนการทดลอง การวัด และการใช้เครื่องมือต่างๆในการวิจัยได้เป็นอย่างดีและเป็นผู้เดียวกันตลอดการวิจัย
2. ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง ได้จากการทดสอบความแข็งผิวแบบนูนป ใช้แรงกด 50 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที
3. ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง แสดงถึง ระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ เนื่องจากการศึกษาที่พบว่าเรซินซีเมนต์ที่มี ระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันสูง จะมีค่าความแข็งผิวสูง ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงเป็นผลจากการได้รับแสงที่มีประสิทธิภาพ

### ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลที่ได้เป็นแนวทางบ่งบอกถึงความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมที่สามารถส่องผ่านชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนาต่างกัน และบอกถึงโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดชิ้นงานนั้น แต่การนำผลไปใช้ทางคลินิกโดยตรงนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นที่อาจทำให้คุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ เช่น เครื่องฉายแสงมีความแตกต่างกับสภาวะในห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้ อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของเซรามิกและเรซินซีเมนต์ชนิดอื่นที่ไม่ได้นำมาศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกันของเซรามิกและเรซินซีเมนต์แต่ละชนิด

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- ความเข้มแสง : Light intensity
- ความแข็งผิว : Surface hardness
- ความหนาของเซรามิก : Ceramic thickness
- เซรามิกทางทันตกรรม : Dental ceramic
- เรซินซีเมนต์ : Resin cement

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบข้อมูลของปริมาณแสงที่สามารถผ่านชิ้นงานเซรามิกต่างชนิดที่มีความหนาต่างกันได้
2. ทำให้ทราบข้อมูลของการบ่มตัวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงเมื่อได้รับแสงต่างกัน
3. เป็นแนวทางในการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดชิ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ





## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

การศึกษานี้ จะทำการศึกษาผลของความเข้มแสงต่อระดับการเกิดพอลิเมอร์ ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ที่ป่นตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ โดยการวัดความแข็งผิว ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรมจะเป็นเรื่องเกี่ยวข้องกับ เรซินซีเมนต์ ความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมและปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสง เซรามิกทางทันตกรรม และการวัดความแข็งผิว

#### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เรซินซีเมนต์ถูกพัฒนาขึ้นในราวปี ค .ศ. 1950 ในระยะแรกไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ยังไม่ดีพอ เช่น มีการหดตัวเมื่อมีการบ่มตัว (polymerization shrinkage) และมีการร่วซึมตามขอบ<sup>[13]</sup> แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเรซินซีเมนต์ให้ดียิ่งขึ้น โดยมีสมบัติทางกล (mechanical properties) เช่น เค้นแรงอัด (compressive strength) ความทนแรงดึง (tensile strength) และค่ามอดุลัสความยืดหยุ่น (elastic modulus) ที่สูง นอกจากนี้ยังมีสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ที่ดี โดยเฉพาะมีการละลายตัวในช่องปากต่ำ ทำให้ลดการร่วซึมตามขอบได้ดีในระยะยาว ลดการเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อโพรงเนื้อฟัน ลดการฟุ้งกระจายและลดอาการเสียวฟันหลังบูรณะ<sup>[2]</sup> ทำให้เรซินซีเมนต์ได้รับความนิยมและแพร่หลายมากขึ้น การใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานบูรณะเซรามิกล้วนจึงได้รับการนิยมนอย่างกว้างขวาง มีการศึกษารายงานว่าให้การยึดอยู่ที่ดีกว่าการใช้ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและช่วยให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงขึ้น<sup>[14]</sup>

เรซินซีเมนต์แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามปฏิกิริยาการบ่มตัว ได้แก่ ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี ชนิดบ่มตัวด้วยแสง และชนิดบ่มตัวสองรูปแบบ ซึ่งเกิดขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันได้ทั้งจากปฏิกิริยาเคมีและแสง<sup>[1]</sup> เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี มักใช้ยึดชิ้นงานที่เป็นโลหะหรือชิ้นงานที่มีความหนาหรือทึบแสงมากซึ่งแสงไม่สามารถผ่านได้<sup>[15]</sup> ซีเมนต์ชนิดนี้มีระยะเวลาทำงานจำกัด ไม่สามารถควบคุมระยะเวลาทำงานได้ และใช้เวลาในการบ่มตัวนาน นอกจากนี้ยังมีความเสถียรของสีต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับงานทันตกรรมบูรณะเพื่อความสวยงาม

เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีการใส่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง (photoinitiator) เป็นส่วนประกอบ มีการใช้งานง่ายกว่าชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี โดยวัสดุจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเมื่อได้รับแสง เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ทำให้ทันตแพทย์มีเวลาทำงานที่ควบคุมได้ และเนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ต้องผสม ทำให้ลดโอกาสที่อากาศเข้ามาในเนื้อวัสดุ ลดโอกาสการเกิดฟองอากาศ และการติดสีของวัสดุ<sup>[2]</sup> แต่อาจเกิดพอลิเมอไรส์ไม่สมบูรณ์หากได้รับแสงไม่เพียงพอ เช่น ในโพรงฟันลึก ๆ โพรงฟันด้านใกล้เหงือก หรือวัสดุมีความหนาและทึบแสงมาก จึงเหมาะสำหรับใช้ยึดชิ้นงานวีเนียร์หรืออินเลย์ซึ่งความหนาและสีของวัสดุไม่มีผลต่อแสงจากเครื่องฉายแสง<sup>[16]</sup> ส่วนเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบนั้นเป็นการพัฒนาโดยรวมเอาข้อดีของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีและเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงเข้าไว้ด้วยกัน<sup>[17]</sup> ประกอบด้วยส่วนเบสและส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในส่วนเบสนั้นมีทั้งสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยปฏิกิริยาเคมีคือสารประกอบชนิดเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) และสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มผสมส่วนประกอบทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน โดยสารประกอบชนิดเอมีนตติยภูมิทำปฏิกิริยากับเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) และมีสารยับยั้งปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compound) ช่วยชะลอปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันให้ช้าลงช่วยให้มีระยะเวลาทำงานมากขึ้น จนกระทั่งฉายแสง เรซินซีเมนต์จะเกิดการแข็งตัวจากการที่แสงไปกระตุ้น สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยแสง<sup>[15]</sup> เรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถทำงานได้ง่ายและเกิดพอลิเมอไรส์ได้แม้ในบริเวณที่ได้รับแสงไม่เพียงพอ

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยแสงของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงเป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical polymerization)<sup>[18]</sup> ในการเกิดปฏิกิริยานั้นต้องมีสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงโดยส่วนใหญ่ใช้สารประกอบกลุ่มไดคีโตนเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง ซึ่งสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือ แคมฟอ ร์ควิโนน แคมฟอ ร์ควิโนนจะถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 375-500 นาโนเมตร โดยความยาวคลื่นที่กระตุ้นให้มีการดูดกลืนแสงของแคมฟอ ร์ควิโนนได้ดีที่สุดคือ 468-470 นาโนเมตร<sup>[7, 8]</sup> เมื่อแคมฟอ ร์ควิโนนได้รับแสงจะดูดกลืนพลังงานแสงหรือโฟตอน ทำให้โมเลกุลของแคมฟอ ร์ควิโนนอยู่ในสภาวะกระตุ้นและทำปฏิกิริยากับสารประกอบชนิดเอมีนตติยภูมิ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระสำหรับเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของวัสดุ<sup>[18]</sup>

ปัญหาของการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงคือ ได้รับแสงไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเนื่องจากการฉายแสงผ่านชิ้นงานบูรณะ เช่น วีเนียร์ อินเลย์ ออน

เลย์ หรือครอบฟันทำให้ความเข้มแสงลดลง ส่งผลให้เรซินซีเมนต์บ่มตัวไม่สมบูรณ์ เรซินซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ หลายประการ เช่น อาการเสียวฟันภายหลังการรักษา การรื้อขี้มตามขอบ การผุซ้ำ<sup>[19]</sup> เรซินซีเมนต์ละลายตัวได้ง่าย เรซินซีเมนต์เปลี่ยนสี และคุณสมบัติทางกายภาพลดลง<sup>[20]</sup> ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาการก่อตัวของวัสดุที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแสง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ เช่น สีและองค์ประกอบของวัสดุ<sup>[21]</sup> ความหนาของวัสดุ<sup>[22]</sup> ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแสง ได้แก่ ความเข้มแสง<sup>[23, 24]</sup> ความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง<sup>[25]</sup> และการกระจายแสง (spectrum distribution) ที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นที่สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงดูดกลืนได้มีปริมาณมากที่สุด<sup>[26]</sup> ซึ่งในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุนั้น วัสดุควรได้รับแสงที่มีประสิทธิภาพ มีความเข้มแสงที่มากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน ความเข้มแสงจึงถือเป็นปัจจัยที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแสง

### ความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรม

ความเข้มแสง (intensity) หรือ ความหนาแน่นกำลังแสง (power density) หมายถึง จำนวนโฟตอน (photon) ต่อวินาที หรือวัตต์ (Watts) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของปลายหลอดนำแสง ถูกวัดเป็นหน่วยวัตต์หรือมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $W/cm^2$ ,  $mW/cm^2$ )<sup>[18, 27]</sup> ความเข้มแสงที่เหมาะสมเป็นปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบและทำให้วัสดุมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม<sup>[28]</sup> Rueggeberg และคณะ<sup>[24]</sup> ได้แนะนำให้ใช้แสงที่มีความเข้มแสงอย่างน้อย 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซิน คอมโพสิต และไม่แนะนำให้ใช้หากเครื่องฉายแสงนั้นมีความเข้มแสงน้อยกว่า 233 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หากวัสดุไม่ได้รับโฟตอนเพียงพอที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากเครื่องฉายแสง ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุจะไม่สมบูรณ์<sup>[7, 24]</sup>

- การวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรม

การวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานเครื่องฉายแสง เครื่องฉายแสงต้องมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและมีความเข้มแสงเพียงพอ<sup>[7]</sup> Barghi และคณะ<sup>[29]</sup> พบว่าเครื่องฉายแสงในคลินิก

ทันตกรรมส่วนใหญ่มักจะมีคามเข้มแสงไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของวัสดุ การวัดความเข้มแสงสามารถวัดได้โดยตรงจากเครื่องฉายแสงโดยใช้เครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer) หรือใช้การวัดโดยอ้อมจากระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันหรือความลึกของการบ่มตัว (depth of cure) ของวัสดุ

### 1. เครื่องวัดพลังงานรังสี

เครื่องวัดพลังงานรังสีเป็นเครื่องมือขนาดเล็ก พัฒนาขึ้นเพื่อใช้วัดความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-515 นาโนเมตร<sup>[30]</sup> ใช้ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสงได้ การวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสีเหมาะสมสำหรับการวัดความเข้มแสงในคลินิกทันตกรรมทั่วไป<sup>[23, 31]</sup> เนื่องจากใช้งานง่าย วัดความเข้มแสงโดยตรงเป็นหน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยวางปลายหลอดนำแสงแนบกับช่องวัดพลังงานรังสีของเครื่องวัดพลังงานรังสีและอ่านค่า ในปัจจุบันนี้มีเครื่องวัดพลังงานรังสีวางจำหน่ายในวิชาวิพหลายชนิด ได้แก่ Optilux radiometer (Kerr, USA) Demetron L.E.D. radiometer (Kerr, USA) และเครื่องฉายแสงบางชนิดมีเครื่องวัดพลังงานรังสีอยู่ด้วย ทำให้สะดวกในการใช้งานมากขึ้น เช่น Optilux 501 (Kerr, USA) (ภาพที่ 1)



ก.



ข.

ภาพที่ 1ก. เครื่องวัดพลังงานรังสี Optilux radiometer และ L.E.D. radiometer (Kerr, USA)

ข. เครื่องฉายแสง Optilux 501 (Kerr, USA) ซึ่งมีเครื่องวัดพลังงานรังสี

Shortall และคณะ<sup>[32]</sup> รายงานว่าเครื่องวัดพลังงานรังสีมีประโยชน์ในการวัดความเข้มแสงและใช้ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมได้ โดยความลึกของการบ่มตัวของวัสดุมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าล็อก (log) ของความเข้มแสงที่วัดได้ เครื่องวัดพลังงานรังสีส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพดี แต่ อาจมีความแปรปรวนระหว่างเครื่อง โดยเครื่องวัด



พลังงานรังสีชนิดหนึ่งอาจวัดค่าความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงชนิดเดียวกันได้มากกว่า เครื่องวัดพลังงานรังสีอีกชนิดหนึ่ง<sup>[30, 32]</sup> หรือเครื่องวัดพลังงานรังสีชนิดหนึ่งอาจวัดค่าได้ดี มีประสิทธิภาพสำหรับเครื่องฉายแสงชนิดหนึ่ง แต่มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับเครื่องฉายแสงอีกชนิดหนึ่ง<sup>[33]</sup> นอกจากนี้ขนาดของช่องวัดพลังงานรังสีและขนาดของปลายเครื่องฉายแสงก็มีความสำคัญ ช่องวัดพลังงานรังสีขนาดเล็กจะวัดค่าความเข้มแสงสูงสุดจากเครื่องฉายแสง ส่วนช่องวัดพลังงานรังสีขนาดใหญ่จะวัดค่าความเข้มแสงเฉลี่ย<sup>[32]</sup> เนื่องจากความไม่กลมกลืนของแสงที่ผ่านหน้าตัดของปลายหลอดรังสี<sup>[34]</sup> ทำให้ค่าความเข้มแสงจากเครื่องวัดพลังงานรังสีมีค่าแตกต่างกัน

## 2. การวัดระดับการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุ

มีหลายการศึกษาที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงกับอัตราการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุ โดยพบว่าเมื่อความเข้มแสงที่ใช้กระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลดลง วัสดุจะมีความลึกในการเกิดพอลิเมอร์ลดลง<sup>[34-36]</sup> การวัดระดับการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่แสดงถึงความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงได้

การวัดระดับการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุสามารถวัดได้หลายวิธีทั้งวัดโดยตรง (direct method) และวัดโดยอ้อม (indirect method) วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดปริมาณของกลุ่มเมทาไครเลตโดยตรงก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน วิธีการนี้ที่ค่อนข้างซับซ้อนใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง ไม่เหมาะสมในการวัดเป็นประจำในคลินิกทันตกรรม เช่น Multiple Internal Reflection spectroscopy (MIR), Laser Raman spectroscopy, Fourier Transform Infrared spectrometry (FTIR)<sup>[37]</sup> เป็นต้น

วิธีการวัดโดยอ้อมเป็นวิธีที่ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่า เช่น การทดสอบโดยการขูดผิวชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งตัวของสาร (Scrape test) การวัดความแข็งผิวของวัสดุ (surface hardness)<sup>[36, 38]</sup> ซึ่งการวัดความแข็งผิวของวัสดุนี้ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการวัดระดับการพอลิเมอไรเซชันโดยตรง<sup>[36]</sup> หรือมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก<sup>[39]</sup> วัสดุที่มีระดับการพอลิเมอไรเซชันสูงจะมีความแข็งผิวสูงด้วย<sup>[40]</sup> Dewald และ Ferracane<sup>[41]</sup> เปรียบเทียบวิธีการประเมินระดับการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุ 4 วิธี พบว่าการขูดผิวชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งตัวของวัสดุและการดูด้วยตาเปล่าสามารถประเมินอัตราการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุได้ดี แต่มักจะให้ค่าที่มากกว่าควม เป็นจริงเมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดความแข็งผิวและการวัดระดับการพอลิเมอไรเซชันโดยตรงด้วย Fourier Transform Infrared spectrometry ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน แต่การใช้ Fourier Transform Infrared spectrometry นั้นเป็นวิธีที่

ยุ่งยากมากกว่าการวัดความเข้มผิว ซึ่ง Rueggeberg และคณะ<sup>[42, 43]</sup> พบว่าค่าความเข้มผิวของวัสดุที่วัดได้มีค่าคล้ายคลึงกับค่าระดับการพอลิเมอไรเซชันของวัสดุเมื่อวัดด้วยวิธี FTIR

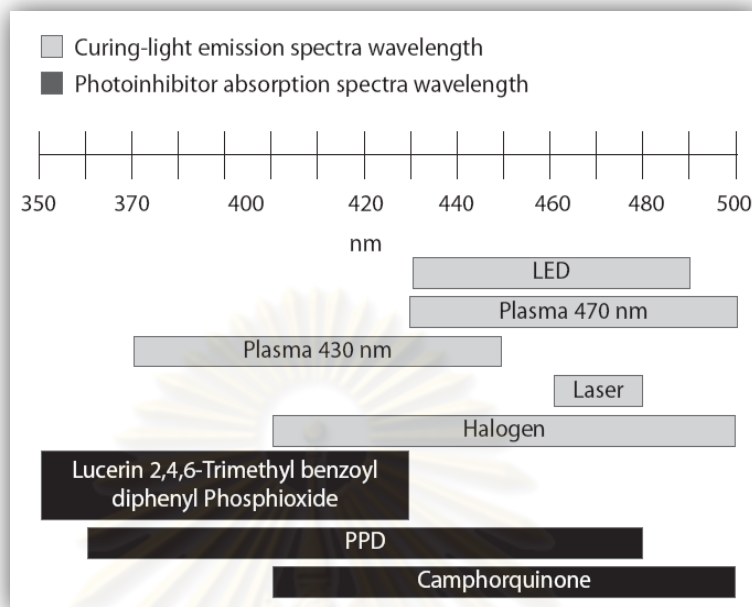
### ● ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสง

ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมมีหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของเครื่องฉายแสง ระยะเวลาในการฉายแสง ขนาดหน้าตัดของปลายหลอดนำแสง และวัสดุที่กั้นขวางทิศทางแสง

#### 1. ชนิดของเครื่องฉายแสง

เครื่องฉายแสงทางทันตกรรมเป็นเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในการทำงานวัสดุเรซิน ชนิดป่มตัวด้วยแสง เครื่องฉายแสงทางทันตกรรมชนิดใช้แสงที่ตามองเห็น (visible light-curing unit) เป็นเครื่องฉายแสงที่นิยมใช้มากที่สุดในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของวัสดุชนิดต่างๆ ทั้งเรซิน คอมโพสิต สารยึดติด (adhesive) สารผนึกหลุมและร่องฟัน (sealant) และเรซินซีเมนต์

เครื่องฉายแสงทางทันตกรรมได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายประเภท ได้แก่ เครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน (Quartz-tungsten-halogen lamp) เครื่องฉายแสงพลาสมาอาร์ค (Plasma arc lamp) เครื่องฉายแสงเลเซอร์ (Laser lamp) และเครื่องฉายแสงไดโอดอีมิตติงไดโอด (Light-emitting diode) หรือ แอลอีดี (LED)<sup>[44]</sup> ซึ่งเครื่องฉายแสงแต่ละประเภทให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกันและเหมาะสมกับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงต่างกัน (ภาพที่ 2) การเลือกใช้เครื่องฉายแสงชนิดใดทันตแพทย์ต้องมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะและคุณสมบัติของเครื่องฉายแสง และองค์ประกอบของวัสดุโดยเฉพาะสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง<sup>[44]</sup> นอกจากนี้ความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงคนละเครื่อง แม้จะเป็นเครื่องรุ่นเดียวกัน โดยผู้ผลิตเดียวกัน จะให้แสงที่ค่าความเข้มแสงแตกต่างกันได้<sup>[45]</sup> ค่าความเข้มแสงจึงเป็นค่าเฉพาะสำหรับเครื่องฉายแสงแต่ละเครื่อง



ภาพที่ 2 ความยาวคลื่นแสงของแสงจากเครื่องฉายแสงชนิดต่าง ๆ และความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดต่าง ๆ<sup>[44]</sup>

ในปัจจุบันนี้ เครื่องฉายแสงที่นิยมใช้กันมากมี 2 ชนิดคือ เครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสแตน-ฮาโลเจน และเครื่องฉายแสงแอลอีดี เครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสแตน-ฮาโลเจนให้แสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-500 นาโนเมตร และมีความเข้มแสง 300-1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร<sup>[2]</sup> ด้วยข้อดีของเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสแตน-ฮาโลเจน ทั้งตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ มีเสียงดัง การพัฒนาเครื่องฉายแสงในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มในการพัฒนาเครื่องฉายแสงแอลอีดีมากขึ้น เนื่องจากให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะกับแคมฟอร์ควิโนน ตัวเครื่องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่มีเสียงดัง และใช้แบตเตอรี่ได้ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

เครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้กำเนิดแสงจากหลอดอิเล็คตรอนไดโอด (diode) และสารกึ่งตัวนำที่อยู่ในสถานะแข็ง (solid state semiconductor) 2 ชนิด<sup>[46]</sup> ที่แตกต่างกัน ทำหน้าที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้า คือ N-doped ซึ่งมีอิเล็คตรอนส่วนเกิน และ P-doped ที่มีหลุมพลังงานอยู่ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไปยังสารกึ่งตัวนำนี้ อิเล็คตรอนจาก N-doped จะเชื่อมต่อกับหลุมพลังงานที่ P-doped เรียก P-N junction ทำให้เกิดแสงสีฟ้าขึ้น แสงสีฟ้านี้มีช่วงความยาวคลื่นเดียวกับช่วงความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนด้วยแคมฟอร์ควิโนน คือในช่วงความยาวคลื่น 460 – 500 นาโนเมตร<sup>[22, 47]</sup> เครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ

ต่างจากเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน ที่ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นกว้าง แต่มีความเข้มแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกันคือประมาณ 470 นาโนเมตร<sup>[48]</sup> แสงจากเครื่องฉายแสงแอลอีดี ไม่มีแสงอินฟราเรดทำให้ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อย ขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน<sup>[49-52]</sup> เครื่องฉายแสงแอลอีดี จึงไม่จำเป็นต้องมี การกรองแสง<sup>[53]</sup> และพัดลมระบายอากาศ ทำให้เครื่องฉายแสงแอลอีดี ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังและมีขนาดเล็ก สะดวกในการใช้งาน อย่างไรก็ตามก็อาจมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตบ้างซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายได้

หลอดอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ควบคุมความยาวคลื่นของแสงของเครื่องฉายแสงแอลอีดี<sup>[46, 54]</sup> เครื่องฉายแสงแอลอีดี ในรุ่นแรก ๆ นั้นมีหลอดอิเล็กทรอนิกส์หลายหลอด แต่ให้แสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ความเข้มแสงของแสงในช่วงความยาวคลื่น 450-500 นาโนเมตร น้อยกว่าความเข้มแสงจากเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน อย่างน้อย 4 เท่า และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่า<sup>[55]</sup> หรือเมื่อใช้เวลาในการฉายแสงเท่ากัน พบว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ใช้เครื่องฉายแสงแอลอีดี มีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงของวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ใช้เครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน<sup>[56]</sup> จึงมีประสิทธิผลน้อยกว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน<sup>[55, 57]</sup> แต่จากการศึกษาของ Bala และคณะ<sup>[58]</sup> พบว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจนให้ความเข้มแสงโดยเฉลี่ย 600 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มากกว่าเครื่องฉายแสงแอลอีดี ที่ให้ความเข้มแสงเฉลี่ย 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร แต่เครื่องฉายแสงแอลอีดี มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซิน คอมโพสิตชนิดไฮบริด แพคเคเบิลและอิมเมอร์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรโดยใช้เวลา 40 วินาที และมี ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน

เครื่องฉายแสงแอลอีดี ในรุ่นที่ 2 ได้มีการพัฒนาให้มีหลอดอิเล็กทรอนิกส์เพียง ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่าเครื่องฉายแสงแอลอีดี ในรุ่นที่ 1 คือ 420-480 นาโนเมตร แต่มีความเข้มแสงสูงขึ้น ประมาณ 600-800 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันน้อยลง มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องฉายแสงแอลอีดี รุ่นที่ 1<sup>[59]</sup> และมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือมากกว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน<sup>[60]</sup>

เนื่องจากเครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นแคบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแคมฟอร์ควิโนน ดังนั้นจึงเกิดปัญหาในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซินที่ใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาชนิดอื่นที่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นไม่ตรงกับความยาว

คลื่นของเครื่องฉายแสงแอลอีดี จึงมีการพัฒนาเครื่องฉายแสงแอลอีดี รุ่นที่ 3 เพื่อให้กำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นกว้างขึ้นตั้งแต่ 400-500 นาโนเมตร และให้ความเข้มแสงสูงถึง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร<sup>[47, 61]</sup> เครื่องฉายแสงแอลอีดี ทำให้เกิดความร้อนขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุน้อยกว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน<sup>[62]</sup> เนื่องจากเครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้แสงในช่วงความยาวคลื่นแคบและตรงกับความยาวคลื่นที่แคมฟอร์ควิโนนดูดกลืนได้ เครื่องฉายแสงแอลอีดี จึงทำให้เกิดความร้อนที่จะเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในน้อย และลดความเครียดในวัสดุ นอกจากนี้จากการ ศึกษาของ Arikawa และคณะ<sup>[63]</sup> พบว่าเครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้แสงที่มีความกลมกลืน คือมีความเข้มแสงเท่า ๆ กันในแต่ละหน่วยพื้นที่มากกว่าเครื่องฉายควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน และเครื่องฉายแสง พลาสมาอาร์ค ซึ่งค่าความเข้มแสงนี้สัมพันธ์กับค่าความแข็งผิวของวัสดุ คือ วัสดุที่ได้รับแสงจากเครื่องฉายแสงแอลอีดี จะมีความแข็งผิวสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว ส่วนวัสดุที่ได้รับแสงจากเครื่องฉายแสงพลาสมาอาร์ค จะมีความแข็งผิวต่าง ๆ กัน ดังนั้นความกลมกลืนของแสงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของแสง และมีผลต่อกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุด้วย ข้อดีอื่น ๆ ของเครื่องฉายแสงแอลอีดี คือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เสียงเบา และมีความเข้มแสงค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการใช้งาน ไม่ลดลงจากการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบต่าง ๆ หลอดอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องฉายแสงแอลอีดี มีอายุการใช้งานประมาณ 50 ชั่วโมง<sup>[59]</sup>

ตัวอย่างเครื่องฉายแสงแอลอีดี เช่น DEMI™ (Kerr, USA), bluephase® G2 (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Ultra-Lume® LED 5 (Ultradent, USA), Elipar™ FreeLight™ 2 (3M ESPE, USA)

## 2. ระยะเวลาในการฉายแสง

ระยะเวลาในการฉายแสงมีผลต่อความหนาแน่นของพลังงานแสง (energy density) จากเครื่องฉายแสงทางทันตกรรม เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานแสงเป็นผลจากความเข้มแสงและระยะเวลา มีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเซนติเมตร ( $J/cm^2$ )<sup>[27]</sup> วัสดุจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับความหนาแน่นของพลังงานแสงที่เหมาะสม<sup>[64, 65]</sup> ความหนาแน่นของพลังงานแสงที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์คือ 1000 จูลต่อตารางเซนติเมตร<sup>[66]</sup> การเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงในเครื่องฉายแสงชนิดเดียวกัน ทำให้ความหนาแน่นของพลังงานแสงเพิ่มขึ้นและวัสดุมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันมากขึ้น<sup>[24, 67, 68]</sup> เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงสูง เช่น เครื่องฉายแสง พลาสมาอาร์ค จะใช้เวลาใน



การฉายแสงน้อยกว่าเครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ เช่น เครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน แต่ให้ความหนาแน่นของพลังงานแสงเท่ากัน<sup>[69]</sup> และวัสดุมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน<sup>[18, 70, 71]</sup> การใช้เวลาในการฉายแสงให้นานขึ้นจึงเป็นวิธีหนึ่งในการใช้ปรับให้เครื่องฉายแสงมีความหนาแน่นของพลังงานแสงเพิ่มขึ้น

### 3. ขนาดของปลายหลอดนำแสง

แสงจากเครื่องฉายแสงเครื่องเดียวกันแต่ขนาดหน้าตัดของปลายหลอดนำแสงต่างกัน จะมีความเข้มแสงต่างกัน โดยความเข้มแสงจะแปรผันเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดหน้าตัดของปลายหลอดนำแสง หน้าตัดของปลายหลอดนำแสงที่มีขนาดเล็กจะให้แสงที่มีความเข้มแสงสูงกว่าหน้าตัดขนาดใหญ่ และมีประสิทธิภาพในการฉายแสงมากกว่า<sup>[72-74]</sup> หลอดนำแสงที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่เหมาะสำหรับโพรงฟันหรือวัสดุขนาดใหญ่ หรือบริเวณที่ต้องการฉายแสงเป็นบริเวณกว้างทำให้ครอบคลุมได้ดี แต่มีความเข้มแสงน้อยจึงอาจใช้เวลาในการฉายแสงนานขึ้นเพื่อแก้ไขปริมาณความเข้มแสงที่ลดลง วัสดุจึงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้สมบูรณ์<sup>[73]</sup> นอกจากนี้ความเข้มของแสงในบริเวณต่าง ๆ ของหน้าตัดของปลายหลอดนำแสงมีความแตกต่างกัน คือ ความเข้มแสงบริเวณกึ่งกลางจะมีค่ามากกว่าบริเวณขอบของปลายหลอดนำแสงและให้แสงที่มีคุณภาพและทิศทางแสงเหมือนกัน (homogenous) มากกว่า<sup>[51, 73, 75]</sup>

โดยทั่วไปหลอดนำแสงประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic) อยู่รวมกันและมีปลอกหุ้ม หลอดนำแสงทั่วไปจะประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงขนาดเท่า ๆ กันตลอดความยาวของหลอดนำแสง ดังนั้นที่ปลายหลอดนำแสงทั้ง 2 ด้านมีความหนาแน่นของเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากัน หลอดนำแสงปลายเทอร์โบ (turbo tip) เป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ปลายหลอดนำแสงของเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน<sup>[76]</sup> ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดที่ปลายด้านนอกเล็กกว่าปลายด้านใน ดังนั้นความหนาแน่นของเส้นใยนำแสงที่ปลายด้านนอกจะมากกว่าด้านใน ความเข้มแสงจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าแสงจากหลอดนำแสงปลายเทอร์โบ ให้แสงที่มีคุณภาพและทิศทางแสงเหมือนกันน้อยกว่าหลอดนำแสงทั่วไป โดยจะมีความเข้มแสงสูงมากที่บริเวณกึ่งกลางหลอดนำแสง และมีความแตกต่างกันในแต่ละบริเวณมากกว่าหลอดนำแสงทั่วไปซึ่งมีความเข้มแสงสูงเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นแสงที่มีความกลมกลืนกันมากกว่า

#### 4. ระยะห่างจากปลายหลอดนำแสง

การฉายแสงควรวางปลายหลอดนำแสงให้ใกล้วัสดุมากที่สุด (แต่ไม่ชิดติดวัสดุ) เนื่องจากเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ จะมีการหักเหและกระจายแสงทำให้ความเข้มแสงลดลง<sup>[77, 78]</sup> ระยะระหว่างหลอดนำแสงและวัสดุมีจึงผลโดยตรงต่อความเข้มแสงและระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุ วัสดุจะสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีที่สุดและมีระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงสุดเมื่อปลายหลอดนำแสงอยู่ติดกับผิวหน้าของวัสดุ<sup>[67]</sup> เนื่องจากไม่มีการกระจายแสงทำให้แสงมีความเข้มแสงสูง มีโฟตอนจำนวนมากจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดี<sup>[78]</sup> ความเข้มแสงที่ระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงที่ระยะต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน ความเข้มแสงจะลดลงมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างปลายหลอดนำแสงและวัสดุมากขึ้น<sup>[68]</sup> เนื่องจากเกิดการกระจายแสงมาก ความเข้มแสงที่ลดลงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มผิวของวัสดุ คือทำให้วัสดุที่เกิดพอลิเมอร์แล้วมีความเข้มผิวลดลงด้วย<sup>[4, 79]</sup> ความเข้มผิวที่ผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจะมีค่ามากกว่าด้านตรงข้ามซึ่งไม่ได้รับแสง เนื่องจากด้านตรงข้ามมีระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงมากกว่า ดังนั้นความเข้มผิวของผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจึงไม่สามารถบ่งบอกถึงความเข้มผิวบริเวณอื่น ๆ หรืออัตราการบ่มตัว (degree of conversion) ของวัสดุนั้น ๆ ได้<sup>[4]</sup>

ในกรณีที่ใช้หลอดนำแสงปลายเทอร์โบที่ระยะทางต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มแสงจากหลอดนำแสงปลายเทอร์โบ จะลดลงมากกว่าค่าความเข้มแสงจากหลอดนำแสงชนิดปกติ<sup>[76, 80]</sup> จากการศึกษาของ Corciolani และคณะ<sup>[80]</sup> พบว่าวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ฉายแสงด้วยหลอดนำแสงเทอร์โบ ทิป ที่ระยะห่าง 0-4 มิลลิเมตร จะมีความลึกในการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ฉายแสงด้วยหลอดนำแสงชนิดปกติ แต่เมื่อฉายแสงที่ระยะห่าง 5-10 มิลลิเมตร วัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ฉายแสงด้วยหลอดนำแสงชนิดปกติมีความลึกในการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าวัสดุเรซิน คอมโพสิตที่ฉายแสงด้วยหลอดนำแสง ปลายเทอร์โบ เนื่องจากหลอดนำแสงปลายเทอร์โบ มีการกระจายแสงมากกว่าทำให้ค่าความเข้มแสงลดลงเมื่อฉายแสงที่ระยะห่างจากวัสดุมากขึ้น

#### 5. วัสดุที่กั้นขวางทิศทางแสง

การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุบูรณะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและมีสมรรถภาพทางคลินิกที่น่าพอใจ<sup>[81]</sup> ในทางกลับกัน คุณสมบัติของวัสดุก็มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเช่นกัน ทั้งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซิน คอมโพสิต และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ภายใต้ชั้นงานเรซิน

คอมโพสิตและเซรามิก ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญคือการกระจายแสงของวัสดุ วัสดุที่ แสงสามารถส่องผ่านและกระจายแสงได้น้อย แสงส่วนใหญ่สะท้อนออกมา วัสดุจะมีความทึบแสง (opacity) ส่วนวัสดุที่แสงส่วนใหญ่สามารถส่องผ่านได้ และมีการสะท้อนแสงน้อย วัสดุนั้นจะมีความโปร่งแสง (translucency) Ruyter และ Oysaed<sup>[25]</sup> พบว่าการกระจายแสงของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ ซึ่งวัสดุจะมีการกระจายแสงมากที่สุดเมื่อฟิลเลอร์ (filler) มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

ในการใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานเซรามิก มีหลายการศึกษาที่รายงานว่าเมื่อแสงผ่านชิ้นงานเซรามิก ความเข้มแสงจะลดลง<sup>[9-11]</sup> ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น โครงสร้างผลึก (crystalline structure) ความหนาของเซรามิกที่เพิ่มขึ้น<sup>[9]</sup> และสีของวัสดุ<sup>[11, 12]</sup> ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะรบกวนการกระจายตัวของแสงส่งผลให้ความเข้มแสงลดลง

### เซรามิกทางทันตกรรม

เซรามิกทางทันตกรรมเป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงมาเป็นเวลานาน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ มีความสวยงาม มีลักษณะใกล้เคียงฟันธรรมชาติทั้งในด้านสี ความโปร่งใส การดูดซับและการกระจายของแสง ความสวยงามที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป มีความต้านทานต่อสารเคมีและความร้อน มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงในช่องปากได้ดีพอควร มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อในช่องปากได้เป็นอย่างดี นำความร้อนและกระแส ไฟฟ้าต่ำมาก และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ซึ่งการพัฒนาวัสดุแกนเซรามิก (core materials) เช่น ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) อะลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide) และเซอร์โคเนียออกไซด์ (zirconium oxide) ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานเซรามิกล้วนได้อย่างกว้างขวาง งานบูรณะเซรามิกล้วนได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับทั้งในแง่ความแข็งแรง และความสวยงาม<sup>[82]</sup>

Conrad และคณะ<sup>[83]</sup> จำแนกวัสดุแกนเซรามิกที่ใช้ในงานเซรามิกล้วนเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เซรามิกชนิดแก้ว (glass ceramics) เซรามิกชนิดอะลูมินา (alumina-based ceramic) และเซรามิก ชนิดเซอร์โคเนีย (zirconia-based ceramic) (ตารางที่ 1 )

#### 1. เซรามิกชนิด อะลูมินา

อินซีแรมอะลูมินา (In-Ceram<sup>®</sup> Alumina, Vita Zahnfabrick, Germany) พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1988 เป็นเซรามิกระบบแรกที่นำมาใช้ในงานสะพานฟัน 3 หน่วย ในฟันหน้า<sup>[84]</sup>

อินซีเรมเป็นเซรามิกชนิดแทรกซึม (infiltrated ceramic) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนผลึก อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ที่ถูกล้อมรอบและแทรกซึมด้วยส่วนเมทริกซ์แก้ว การขึ้นรูปใช้กระบวนการ slip-casting โดยสร้างโครงอะลูมินาที่มีรูพรุนจากผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์และแทรกซึมรูพรุนด้วยแลนทานัมอะลูมิโนซิลิกาที่หลอมเหลว (molten lanthanum aluminosilicate glass) ซึ่งมีความแข็งแรงสูง จากนั้นพอกทับด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ ซเลน อินซีเรมแนะนำให้ใช้สำหรับครอบฟันหน้า ครอบฟันหลัง และสะพานฟันหน้า 3 หน่วย อินซีเรมมีข้อดีที่สำคัญ คือ มีความทึบแสงจากแกนอะลูมินา ทำให้ครอบฟันไม่สวยงามเหมือนธรรมชาติ จึงได้มีการพัฒนาอินซีเรมสปิเนล (In-Ceram<sup>®</sup> Spinell, Vita Zahnfabrick, Germany) ปรับปรุงส่วนผลึกโดยใช้ส่วนผสมของแมกนีเซียมและอะลูมินา ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )<sup>[85, 86]</sup> ทำให้ส่วนแกนของเซรามิกชนิดนี้มีความใสมากขึ้น แต่มีความทนแรงดัด (flexural strength) ต่ำกว่าอินซีเรมอะลูมินา จึงแนะนำให้ใช้เฉพาะครอบฟันหน้าเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาอินซีเรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram<sup>®</sup> Zirconia, Vita Zahnfabrick, Germany) โดยเติมเซอร์โคเนียที่ถูกทำให้เสถียรบางส่วน (partially stabilized zirconia) ในอัตราส่วนผลึกอะลูมินาออกไซด์ต่อผลึกเซอร์โคเนีย 70 ต่อ 30 อินซีเรมเซอร์โคเนียจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถใช้ในงานสะพานฟันในฟันหลังได้ แต่มีความโปร่งแสงน้อยกว่าอินซีเรมชนิดอื่น ๆ

ต่อมาในปี 1993 ได้มีการพัฒนาระบบโพรเซราอลซีเรม (Procera<sup>®</sup> AllCeram, Nobel Biocare, USA) โดย Andersson และ Oden วัสดุแกนเป็นอะลูมินา (densely sintered high-purity alumina) ร้อยละ 99.9 มีความแข็งแรงมากกว่าอินซีเรมและเอ็มเพรส<sup>[87]</sup> วัสดุชนิดนี้ขึ้นรูปด้วยวิธีแคด-แคม (CAD-CAM) จากนั้นปิดผิวหน้าด้วยการวีเนียร์ เพื่อให้มีความสวยงามและมีความทึบแสงใกล้เคียงกับเนื้อฟัน เหมาะสำหรับการใช้ในฟันที่มีสีเข้ม

## 2. เซรามิกชนิดแก้ว

เซรามิกชนิดแก้วประกอบด้วยวัสดุ 3 กลุ่มหลักคือ เฟลด์สปาทิก พอร์ซเลน เซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ (leucite-reinforced glass ceramic) และเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate glass ceramic)

1) เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน เป็นเซรามิกที่มีส่วนประกอบของ  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  ซึ่งเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนที่ใช้ในงานเซรามิกจำนวนมากใช้การขึ้นรูปด้วยวิธีการกลึง เช่น VITABLOCS Mark II, VITA TriLuxe Bloc และ VITABLOCS Esthetic Line (VITA Zahnfabrick, Germany)

2) เซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ พัฒนาขึ้นในช่วงต้นทศวรรษที่ 90<sup>[88]</sup> เป็นเซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด (pressable ceramic) โดยใช้วิธีไลซ์ฝั่งและกดอัดด้วยความร้อน (lost-wax and heat-pressed) ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{K}_2\text{O}$  เป็นเซรามิกที่มีความสวยงามสูง แต่มีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ มีค่าความทนแรงดัด 95 -180 เมกะปาสกาล และมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ประมาณ  $1.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ <sup>[89]</sup> จึงจำกัดการใช้งานเพียงทำครอบฟันในพื้นหน้าเท่านั้น วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ IPS Empress<sup>®</sup> (Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ซึ่งต่อมาในปี 1988 ได้พัฒนา IPS ProCAD<sup>®</sup> ขึ้นซึ่งประกอบด้วยเซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ ที่มีขนาดอนุภาคละเอียดกว่า IPS Empress<sup>®</sup> และขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีการกลึงในระบบ CEREC inLab (Sirona Dental Systems, Germany)

3) เซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต เป็นเซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดเซรามิกเช่นเดียวกับเซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ ประกอบด้วยแก้วที่เป็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกต ( $\text{SiO}_2\text{-LiO}_2$ ) โดยมีค่าความทนแรงดัดประมาณ 300-400 เมกะปาสกาล และมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการแตกหัก  $2.8\text{-}3.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ <sup>[90, 91]</sup> สามารถทำเป็นสะพานฟัน 3 หน่วยได้ในพื้นหน้า และสามารถใช้ได้ในพื้นที่กรามน้อย วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ IPS Empress<sup>®</sup> 2 (Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) การขึ้นรูปขึ้นงานขึ้นงาน IPS Empress<sup>®</sup> 2 นั้น โครงของ IPS Empress<sup>®</sup> 2 ที่ได้จากการกดอัด จะถูกฉาบผิวหน้าด้วยฟลูออโรอะพาไทต์กลาสเซรามิก (fluoroapatite glass ceramic) ทำให้ขึ้นงานมีความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติ

ต่อมาได้พัฒนากลุ่มวัสดุ IPS e.max<sup>®</sup> ขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานได้ในทุกกรณี โดย IPS e.max<sup>®</sup> ประกอบด้วยวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด ได้แก่ IPS e.max<sup>®</sup> Press และ ZirPress วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยวิธีแคด/แคม (CAD/CAM) ได้แก่ IPS e.max<sup>®</sup> Cad และ ZirCad และวัสดุที่ใช้สำหรับฉาบผิวหน้าเป็นชั้น (layering) ได้แก่ IPS e.max<sup>®</sup> Ceram

IPS e.max<sup>®</sup> Press ประกอบด้วยลิเทียมไดซิลิเกต เช่นเดียวกับ IPS Empress 2 มีคุณสมบัติทางกายภาพและความโปร่งแสงดีกว่า IPS Empress<sup>®</sup> 2<sup>[92, 93]</sup> มีค่าความทนแรงดัดประมาณ 400 เมกะปาสกาล และมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการแตกหัก  $3.0 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  สามารถใช้ทำขึ้นงานวีเนียร์ อินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟัน และสะพานฟันหน้าจนถึงพื้นที่กรามน้อยซี่ที่ 2 ได้ Wolfart และคณะ<sup>[94]</sup> ศึกษาอัตราการคงอยู่ (survival rate) ของ



สะพานฟัน 3 หน่วย ซึ่งสร้างขึ้นงานจาก IPS e.max<sup>®</sup> ทั้งในฟันหน้าและฟันหลัง โดยติดตามผลเป็นเวลา 8 ปี พบว่ามีอัตราการคงอยู่ถึงร้อยละ 93

### 3. เซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย

เซอร์โคเนีย ( $ZrO_2$ ) เป็นผลึกไดออกไซด์ (dioxide) ของแร่เซอร์โคเนียม มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะ และมีสีคล้ายคลึงฟันธรรมชาติแต่มีความทึบแสง<sup>[95]</sup> ผลึกเซอร์โคเนียมีการเรียงตัว 3 รูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ<sup>[96]</sup> ได้แก่ โมโนคลินิก (monoclinic) ในช่วงอุณหภูมิน้อยกว่า 1170 องศาเซลเซียส เทตระโกนอล (tetragonal) ในช่วงอุณหภูมิ 1170-2370 องศาเซลเซียส และคิวบิก (cubic) ในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 2370 องศาเซลเซียส โดยผลึกเซอร์โคเนียจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเทตระโกนอลเป็นโมโนคลินิกในช่วงที่ทำให้เย็นตัวลง (cooling phase) อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1470-1010 องศาเซลเซียส ทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4.5 และมีแรงเค้นภายในสูงขึ้น จึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเซอร์โคเนียโดยการเติมออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เช่น  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Y_2O_3$  หรือ  $CeO_2$  เพื่อคงสภาพผลึกเซอร์โคเนียให้อยู่ในรูปเทตระโกนอลที่อุณหภูมิห้อง ทำให้โมเลกุลของเซอร์โคเนียเสถียรมากขึ้น ควบคุมการเกิดแรงเค้นขณะ ผลึกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และหยุดการดำเนินต่อของรอยร้าว (crack propagation) ออกไซด์ที่นิยมใช้เป็นตัวคงสภาพของผลึกเซอร์โคเนียมากที่สุดคือ yttrium oxide ( $Y_2O_3$ ) ร้อยละ 3 เรียกว่า yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline (Y-TZP) Y-TZP มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการทำให้นิยมนำมาใช้ในงานทันตกรรมบูรณะ ได้แก่ มีการคงมิติที่ดี มีความแข็งแรงและความต้านทานการแตกหักสูง และมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (elastic modulus) ใกล้เคียงโลหะ มีความทึบแสงซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบความแนบของชิ้นงาน ซีเมนต์ส่วนเกิน และ การฟุ้ง้ำได้จากภาพถ่ายรังสี

การสร้างชิ้นงานเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียสามารถทำได้ 2 วิธี โดยใช้เทคโนโลยีแคด / แคม (CAD/CAM)<sup>[97]</sup> วิธีแรกสร้างโครงจากเซอร์โคเนียที่ยังไม่ผ่านการเผาให้แข็งเต็มที่ (presintered blank) โดยใช้คอมพิวเตอร์ออกแบบให้โครงชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริงเพื่อชดเชยการหดตัวของเผา ซึ่งเซอร์โคเนียชนิดนี้จะมีการหดตัวเชิงเส้นในขณะเผาประมาณร้อยละ 20-25 เมื่อกิ่งชิ้นงานได้แล้ว นำไปเผาอีกครั้ง เพื่อให้เกิดการเผาสมบูรณ์ (fully sintering) จากนั้นฉาบผิวหน้าด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน การสร้างชิ้นงานด้วยวิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาในการกลึงและลดการสึกของหัวกลึง<sup>[98]</sup> ตัวอย่างของเซอร์โคเนียเซรามิกชนิดนี้ได้แก่ Cercon<sup>®</sup> (Degudent) Lava<sup>™</sup> (3M ESPE) Procera<sup>®</sup> Zirconia การสร้างชิ้นงานเซรา

มิกเซอร์โคเนียอีกวิธีหนึ่งเป็นการกลิ้งชิ้นงานจากเซอร์โคเนียที่ผ่านการเผาเต็มที่แล้ว (fully sintered blank) เซอร์โคเนียชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก ทำให้ใช้เวลาถึงนาน แต่ไม่ต้องทำโครงให้ใหญ่กว่าความเป็นจริงเพื่อชดเชยการหดตัว เนื่องจากไม่มีการเผาอีกครั้งหลังการกลิ้ง แต่การกลิ้งอาจส่งผลต่อโครงสร้างระดับไมโครและความแข็งแรงของวัสดุได้<sup>[99]</sup> ตัวอย่างเซอร์โคเนียเซรามิกชนิดนี้ ได้แก่ DenZir™ และ DC-Zircon

Cercon® เป็นเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียที่สร้างขึ้นงานจากเซอร์โคเนียที่ยังไม่ผ่านการเผาให้แข็งเต็มที่ การขึ้นรูปชิ้นงานอาศัยการหล่อแบบซีดีงบน แบบปูน (die) จากนั้นคอมพิวเตอร์จะสแกน (scan) แบบซีดีเพื่อสร้างเป็นแกนชิ้นงานเซอร์โคเนียที่มีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริง จากนั้นนำชิ้นงานที่กลิ้งได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการเผาสมบูรณ์<sup>[100]</sup> Cercon® มีค่าความทนแรงดัด 1140 เมกะปาสกาล<sup>[101]</sup> จากการศึกษาของ Luthy และคณะ<sup>[100]</sup> เกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงของโครงชิ้นงานสะพานฟัน 4 หน่วย สำหรับฟันหลัง พบว่า Cercon® มีความสามารถในการรับแรงมากกว่า IPS Empress® 2 และ In-Ceram® Zirconia

มีหลายการศึกษาที่รายงานว่าเมื่อแสงผ่านชิ้นงานเซรามิก ความเข้มแสงจะลดลง<sup>[9-11, 19]</sup> ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น โครงสร้างผลึก (crystalline structure) ความหนาของเซรามิกที่เพิ่มขึ้น<sup>[9, 19]</sup> และสีของวัสดุ<sup>[11, 12]</sup> ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะรบกวนการกระจายตัวของแสงส่งผลให้ความเข้มแสงลดลง Rasetto และคณะ<sup>[11]</sup> ศึกษาความสามารถของแสงในการส่องผ่านชิ้นงานเซรามิกโดยการวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสี พบว่าชนิดของวัสดุและความหนาของวัสดุที่ใช้เป็นแกนมีผลต่อการส่องผ่านของแสงของวีเนียร์ โครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันของวัสดุเซรามิกแต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการดูดกลืนแสงและกระจายแสง วัสดุที่มีความโปร่งแสงมาก เช่น Empress® Esthetic ซึ่งประกอบด้วยผลึกโลหะที่มีอนุภาคขนาดเล็กและเรียงตัวเป็นเนื้อเดียวกันจะมีความสามารถในการส่องผ่านของแสงดี<sup>[102]</sup>

Core Material	System	Manufacturing technique	Clinical indications
<i>Glass Ceramic</i>			
Lithium disilicate (SiO <sub>2</sub> -LiO <sub>2</sub> )	IPS Empress 2 (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Heat pressed	Crowns, anterior FPDP
Leucite (SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> O)	IPS e.max (Ivoclar Vivadent)	Heat pressed	Onlay, 3/4crowns, crowns, anterior FPDP
	IPS Empress (Ivoclar Vivadent)	Heat pressed	Onlay, 3/4crowns, crowns
	Optimal Pressable Ceramic (Jeneric Pentron, Wallingford, Conn)	Heat pressed	Onlay, 3/4crowns, crowns
	IPS ProCAD (Ivoclar Vivadent)	Milled	Onlay, 3/4crowns, crowns
Feldspathics (SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Na <sub>2</sub> O-K <sub>2</sub> O)	VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)	Milled	Onlay, 3/4crowns, crowns, veneers
	VITA TriLuxe Bloc (VITA Zahnfabrik)	Milled	Onlay, 3/4crowns, crowns, veneers
	VITABLOCS Esthetic Line (VITA Zahnfabrik)	Milled	Anterior crowns, veneers
<i>Alumina</i>			
Aluminum oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	In-Ceram Alumina (VITA Zahnfabrik)	Slip-cast, milled	Crowns, FPDP
	In-Ceram Spinell (VITA Zahnfabrik)	Milled	Crowns
	In-Ceram Zirconia (VITA Zahnfabrik)	Slip-cast, milled	Crowns, Posterior FPDP
	Procera (Nobel Biocare AB, Goteberg, Sweden)	Densely sintered	Veneers, crowns, anterior FPDP
<i>Zirconia</i>			
Y-TZP (ZrO <sub>2</sub> stabilized by Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Lava (3M ESPE, St. Paul, Minn)	Green milled, sintered	Crowns, FPDP
	Cercon (Densply Ceramco, York Pa)	Green milled, sintered	Crowns, FPDP
	DC-Zirkon (DCS Dental AG, Allschwil, Switzerland)	Milled	Crowns, FPDP
	Procera (Nobel Biocare AB)	Densely sintered, milled	Crowns, FPDP, implant abutments

ตารางที่ 1

ระบบของวัสดุเซรามิกและข้อบ่งชี้ในการใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต<sup>[83]</sup>

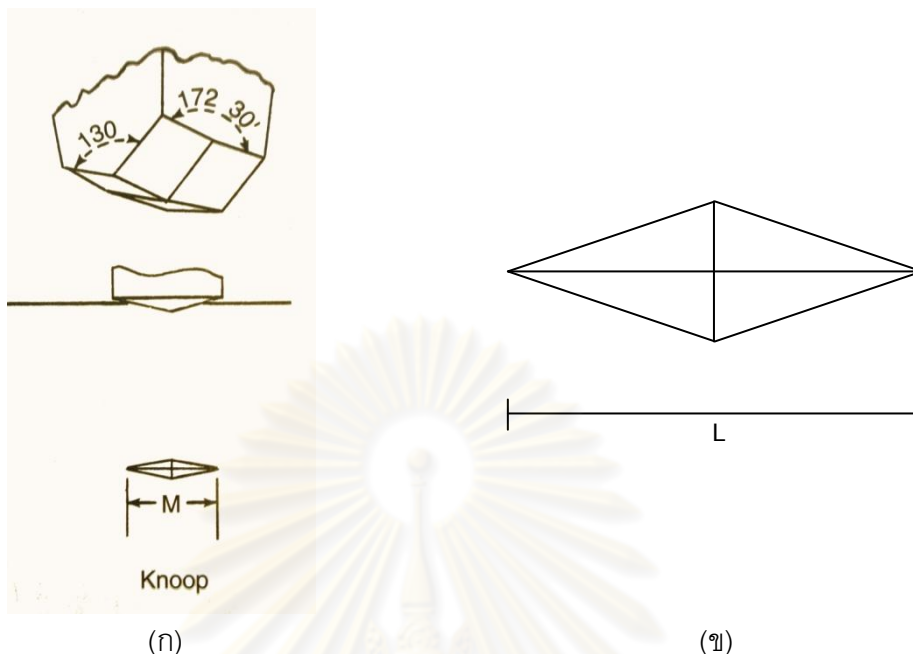
## การทดสอบความแข็งผิวระดับไมโคร

การทดสอบความแข็งผิวโดยการกดมีหลักการ คือ ใช้หัวกดมากดบริเวณพื้นผิวที่จะทดสอบจนกระทั่งถึงแรงที่กำหนดไว้ จากนั้นจะคำนวณแรงกดต่อพื้นผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นหลังจากหัวกดกดเรียบร้อยแล้ว<sup>[103]</sup> แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบความแข็งระดับมาโคร (macrohardness tests) จะใช้แรงกดมากกว่า 1 กิโลกรัม และการทดสอบความแข็งระดับไมโคร (microhardness tests) จะใช้แรงกดน้อยกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งนิยมใช้ทางทันตกรรมมากกว่า การทดสอบความแข็งระดับไมโครมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมที่สุดมีสองวิธี คือ การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers hardness test) และการทดสอบความแข็งแบบนूप (Knoop hardness test) โดยมีหลักการคำนวณความแข็งจากค่าแรงที่ใช้ต่อหน่วยพื้นที่หลังจากหัวกดได้กดเรียบร้อยแล้ว<sup>[104]</sup> การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส ใช้หัวกดเพชรรูปร่างปิรามิด (diamond pyramidal indentation) ที่มีมุม 136 องศา ทำให้ได้รอยกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square shape) ความยาวของเส้นทแยงมุม (diagonal) ของรอยกดจะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าความแข็งและมีหน่วยเป็น Vickers hardness number (VHN) การทดสอบแบบวิกเกอร์เหมาะสำหรับประเมินความแข็งของวัสดุเปราะ เช่น โครงสร้างฟัน ส่วนการทดสอบแบบนूप มีหลักการเช่นเดียวกับการทดสอบแบบวิกเกอร์ โดยใช้หัวเพชรรูปร่างปิรามิดที่ทำให้รอยกดเป็นรูปขนมเปียกนูน (rhomboid shape) ค่าความแข็งคำนวณจากความยาวของเส้นทแยงมุมเส้นยาวของรอยกด มีหน่วยเป็น Knoop hardness number (KHN) โดยที่ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบแบบนूपจะต้องขัดและมีพื้นผิวที่เรียบ รอยกดจะเกิดการคืนตัว (elastic recovery) ตามแนวเส้นทแยงมุมเส้นสั้น ดังนั้นค่าความแข็งแบบนूपจึงไม่ขึ้นกับความยืดหยุ่นของวัสดุ นอกจากนี้การทดสอบแบบนूपสามารถใช้แรงกดได้ตั้งแต่ 0.1 กิโลกรัม ถึง มากกว่า 1 กิโลกรัม จึงสามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุแข็งและนิ่ม<sup>[2]</sup> โดยค่าความแข็งคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกด ดังแสดงใน ภาพที่ 2 โดยมีสูตรคือ<sup>[105]</sup>

$$\text{ความแข็ง (H)} = \frac{\text{น้ำหนักที่ใช้กด (F)}}{\text{พื้นที่ของรอยกด (A)}}$$

$$\text{โดยพื้นที่ของรอยกด (A)} = 0.07L^2$$

$$\text{และ L} = \text{ความยาวเส้นทแยงมุมเส้นยาวของรอยกดรูปปิรามิด}$$



ภาพที่ 3 ก. ลักษณะของหักกุดและรอยกุดของการวัดความแข็งแบบนूप

ข. ภาพจำลองรอยกุดที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแบบนूप

(ดัดแปลงจาก Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials. 11th ed.)

มีหลายการศึกษาที่แสดงว่าค่าความแข็งผิวแบบนूपมีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอไรเซชันของวัสดุ<sup>[38, 42, 106]</sup> Rueggeberg<sup>[42]</sup> รายงานว่า ค่าความแข็งผิวแบบนूपสามารถใช้ทำนายอัตราการเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอไรได้ดี อย่างไรก็ตาม Ferracane<sup>[106]</sup> ได้รายงานว่า แม้ค่าความแข็งผิวแบบนूपนั้นมีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอไรเซชัน แต่ไม่สามารถใช้ทำนายระดับการเกิดพอลิเมอไรเซชันของวัสดุได้อย่างแน่นอน นอกจากนี้ค่าความแข็งผิวแบบนूपยังสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสงที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซินซีเมนต์<sup>[107-109]</sup> โดยวัสดุที่ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดี และมีค่าความแข็งผิวแบบนूपสูง นอกจากนี้ค่าความแข็งผิวของวัสดุยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาภายหลังจากรับแสงด้วย โดยพบว่าค่าความแข็งผิวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังได้รับแสง 30 นาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องไปจนมีความแข็งผิวสูงสุดประมาณ 1 วันหลังจากได้รับแสง<sup>[110, 111]</sup>

การศึกษาระดับการเกิดพอลิเมอไรเซชันของเรซินซีเมนต์โดยวัดค่าความแข็งผิวแบบนूपมีการใช้แรงกด ระยะเวลา และจำนวนจุดกดแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา (ตารางที่ 2) ซึ่งขึ้นอยู่กับ



กับการออกแบบการทดลองนั้น ทั้งขนาดและความหนาของ ชั้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ ชนิดเครื่อง  
ฉายแสงและวัสดุที่กั้นทิศทางแสง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 สรุปการศึกษาต่าง ๆ เกี่ยวกับการวัดความแข็งแรงแบบรูปของเรซินซีเมนต์<sup>[102, 107, 112-115]</sup>

ผู้วิจัย, ปี ค.ศ.	ชนิดของเครื่องฉายแสง	วัสดุที่กันทิศทางแสง	ชนิดของเรซินซีเมนต์	จำนวนชิ้นตัวอย่างต่อกลุ่ม	ความหนาของชิ้นตัวอย่าง	ขนาดแรงกดและระยะเวลา	จำนวนรอยกดต่อชิ้น
Rasetto และคณะ, 2001	ฮาโลเจนฮาโลเจนที่มีพลังงานสูงพลาสมาอาร์ค	เซรามิกชนิดอะลูมินา เซรามิกชนิดแก้ว (เฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนและเซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์	บ่มตัวด้วยแสง	1 ชิ้น	1 มม.	50 กรัม 60 วินาที	6
Meng และคณะ, 2006	ฮาโลเจน	เซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์	บ่มตัวสองรูปแบบ	1	0.05 มม.	50 กรัม 30 วินาที	1
Meng และคณะ, 2008	ฮาโลเจน	-	บ่มตัวสองรูปแบบ	5 ชิ้น	2 มม.	25 กรัม 30 วินาที	5
Borges และคณะ, 2008	ฮาโลเจน	เซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต เซรามิกชนิดอะลูมินา เซรามิกชนิดเซอริโคเนีย	บ่มตัวสองรูปแบบ	10 ชิ้น	1 มม.	50 กรัม 15 วินาที	3
Pazin และคณะ, 2008	ฮาโลเจนแอลอีดี	เซรามิกชนิดแก้วที่เสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์	บ่มตัวสองรูปแบบ, แสง และปฏิกิริยาเคมี	5 ชิ้น	1 มม.	50 กรัม 15 วินาที	5
Piva และคณะ, 2008	ฮาโลเจนพลาสมาอาร์คแอลอีดี	เฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน	บ่มตัวสองรูปแบบ	10 ชิ้น	1 มม.	50 กรัม 15 วินาที	3

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ประชากร

เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสง 2 ชนิด

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องฉายแสงแอลอีดี (LED light curing unit, Demi, Kerr Corporation, USA)
2. เครื่องวัดพลังงานรังสี (Radiometer, L.E.D. radiometer by Demitron, Kerr Corporation, USA)
3. เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค (Micro-hardness tester, FM- 700e TYPE D, FUTURE-TECH , Japan)
4. เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (Automatic polishing machine, DPS 3200, IMPTECH, South Africa)
5. เครื่องวัดดิจิทัลไมโครมิเตอร์ (Digimatic Micrometer, Mitutoyo, Japan)
6. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (Ultra sonic cleaner, 5210, BRANSONIC, Germany)

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. กระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 400, 600, 800 และ 1200
2. ใยขัดผ้าตัดเบอร์ 12
3. แผ่นอะคริลิก
4. แผ่นกระจกใส (glass slide)
5. กระจกกันไสแผ่นบาง (cover glass)
6. พายผสมซีเมนต์ (plastic spatula)

● **วัสดุที่ใช้ในการวิจัย**

1. เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง

1.1) วาโรลิงควีเนียร์ (Variolink<sup>®</sup> Veneer, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) สี

high value +3

1.2) เน็กซ์สทรี (NX3 Nexus<sup>®</sup> Third Generation(Base), Kerr Corporation, USA) สี

White opaque

2. เซรามิกชนิดแก้ว

2.1) IPS e.max<sup>®</sup> Press ingot (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) ชนิดความโปร่ง

แสงสูง (High translucency-HT) สี A1

2.1) IPS e.max<sup>®</sup> Press ingot (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) ชนิดความทึบ

แสงสูง (High opacity-HO) สี HO – 0

3. เซรามิกชนิดเซอวิโคเนีย (Cercon<sup>®</sup>, DeguDent, Germany)

3.1) Cercon<sup>®</sup> base ceramic blank สีขาว (white)

4. ขี้ผึ้งสำหรับสร้างแบบหล่อ (Standard Modelling Wax (beige), bredent GmbH &

Co. KG, Germany)

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษา

ผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ
IPS e.max <sup>®</sup> Press	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	SiO <sub>2</sub> Li <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, MgO, ZnO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> และ oxides อื่น ๆ
Cercon <sup>®</sup>	DeguDent, Hanau, Germany	Zirconium oxide Yttrium oxide <5% Hafnium oxide <2% Aluminium oxide <1%
Variolink <sup>®</sup> Veneer	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Dimethacrylates Inorganic Fillers Ytterbium Trifluoride Catalysts และ Stabilizers Pigments
NX3 Nexus <sup>®</sup> Third Generation	Kerr Cooperation, Orange, CA, USA	Uncured Methacrylate Ester Monomers Mineral filler BPO-free/amine-free redox initiator Stabilizer Radiopaque agent

การเก็บรวบรวมข้อมูล

• การเตรียมชิ้นงานเซรามิก

1. ไอพีเอสอีแมกซ์เพรส (IPS e.max<sup>®</sup> Press, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)

สร้างชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง และชนิดความทึบแสงสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความหนา 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร โดยสร้างแบบขึ้นเป็นแผ่นกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ให้มีความหนามากกว่าที่ต้องการ



ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร จากนั้นนำขึ้นขึ้นรูปเป็นแม่แบบสำหรับขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกด้วย ขบวนการกดอัดลงเบ้าของผลิตภัณฑ์ นำชิ้นงานเซรามิกมาขัดให้ได้ความหนาตามต้องการด้วย เครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ (DPS 3200, IMPTECH, South Africa) และกระดาษทรายซิลิกอน คาร์ไบด์ความละเอียด 400 600 800 และ 1200 ตามลำดับ วัดความหนากลางชิ้นงานด้วยดิจิตอล ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, Japan) ให้ได้ชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา  $0.5 \pm 0.05$  มิลลิเมตร  $1.0 \pm 0.05$  มิลลิเมตร  $1.5 \pm 0.05$  มิลลิเมตร และ  $2.0 \pm 0.05$  มิลลิเมตร

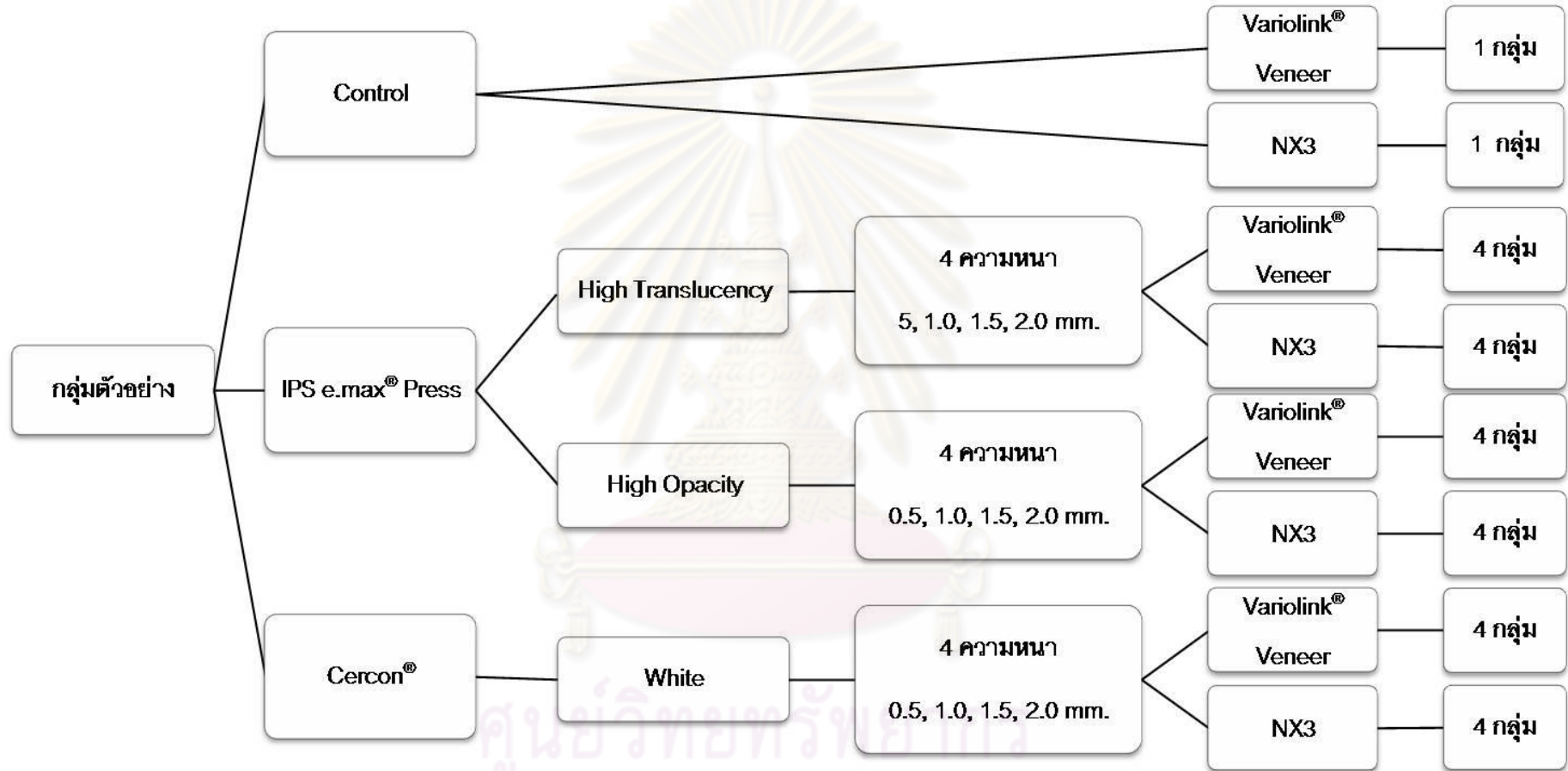
## 2. เซอร์คอน (Cercon<sup>®</sup>, DeguDent, Germany)

สร้างชิ้นงานเซรามิกเซอร์คอนสีขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความหนา 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร โดยสร้างชิ้นงานจากเซอร์คอนเบสที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาเต็มที่ นำมาตัดให้มีรูปร่างเป็นแผ่นกลม และขัดด้วยกระดาษทรายแห้งให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนามากกว่าที่ต้องการร้อยละ 30 เพื่อชดเชยการหดตัวจากการเผา ตรวจสอบชิ้นงานว่าไม่มีรอยร้าวรอยแตกใดๆ จากนั้นนำไปผ่านขบวนการซินเทอ (sintering) เป็นชิ้นงานเซรามิก นำชิ้นงานเซรามิกมาขัดให้ได้ความหนาตามต้องการด้วยเครื่องขัดผิววัสดุอัตโนมัติ และกระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 400 600 800 และ 1200 ตามลำดับ วัดความหนากลางชิ้นงานด้วยดิจิตอลไมโครมิเตอร์ ให้ได้ชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา  $0.5 \pm 0.05$  มิลลิเมตร  $1.0 \pm 0.05$  มิลลิเมตร  $1.5 \pm 0.05$  มิลลิเมตร และ  $2.0 \pm 0.05$  มิลลิเมตร

### • การเตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์

เตรียมแบบหล่อ โดยใช้แผ่นพีวีซี (PVC-polyvinylchloride) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างด้านละ 2 เซนติเมตร ความหนา 0.5 มิลลิเมตร เจาะรูกลมกลางแผ่นพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เพื่อใส่เรซินซีเมนต์ โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์กลุ่มละ 12 ชิ้น (ภาพที่ 4)

เตรียมเครื่องฉายแสงแอลอีดี โดยใช้เครื่องวัดพลังงานรังสีตรวจวัดความเข้มแสงให้อยู่ในระดับปกติก่อนฉาย และตรวจความเข้มแสงซ้ำเมื่อฉายแสงทุก ๆ 10 ครั้ง<sup>[115]</sup>

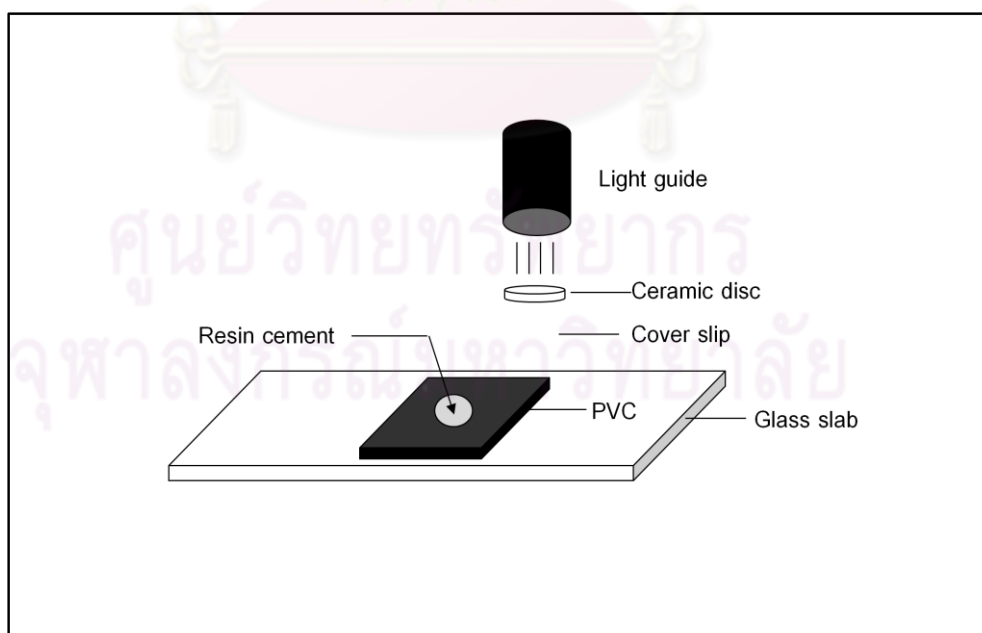


ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

กลุ่มควบคุม คือ ขึ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ได้รับแสงโดยตรง จำนวน 2 กลุ่ม ตาม ผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ โดยนำแบบหล่อวางบนแผ่นกระจกใส นำเรซินซีเมนต์ใส่ในช่องกลมกลางแบบหล่อ ปิดทับด้วยกระจกกันไสแผ่นบาง ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเป็นเวลา 40 วินาที โดยให้ปลายหลอดนำแสงตั้งฉากกับกระจกกันไสแผ่นบาง เรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวแล้วจะยึดติดกับแบบหล่อ จากนั้นเก็บชิ้นงานในกล่องกันแสงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กลุ่มทดลอง คือ ขึ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิก จำนวน 24 กลุ่ม ตามชนิดของเซรามิก ความหนา และ ผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ โดยนำแบบหล่อวางบนแผ่นกระจกใส นำเรซินซีเมนต์ใส่ในช่องกลมกลางแบบหล่อ ปิดทับด้วยกระจกกันไสแผ่นบาง แล้วนำชิ้นงานเซรามิกปิดทับด้านบน (ภาพที่ 5) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเป็นเวลา 40 วินาที โดยให้ปลายหลอดนำแสงตั้งฉากกับชิ้นงานเซรามิก เรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวแล้วจะยึดติดกับแบบหล่อ จากนั้นเก็บชิ้นงานในกล่องกันแสงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ในการเตรียมขึ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ มีการควบคุมมาตรฐานโดยเตรียมชิ้นงานเป็นชุด โดยในแต่ละชุดจะใช้เตรียมขึ้นเดียวกันของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เช่น ชุดที่ 1 คือเตรียมชิ้นงานขึ้นที่ 1 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 26 กลุ่ม



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงวิธีการเตรียมขึ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์

## วิธีการวิจัย

### ตอนที่ 1 การวัดปริมาณความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรม

วัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงโดยใช้เครื่องวัดพลังงานรังสี ซึ่งมีแป้นวัดพลังงานรังสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร วัดค่าความเข้มแสง 3 ครั้งในแต่ละกลุ่มตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบค่าความเข้ม แสงของกลุ่มทดลองที่เปลี่ยนแปลงไปจากกลุ่มควบคุมเป็นร้อยละ

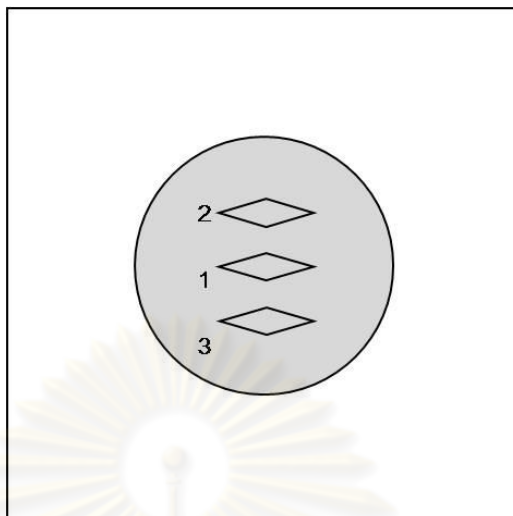
กลุ่มควบคุม คือ ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงโดยตรง โดยวางปลายหลอดนำแสงบนแป้นวัดพลังงานรังสี จากนั้นฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที และอ่านค่าความเข้มแสง

กลุ่มทดลอง คือ ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการวัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงที่ฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน จำนวน 20 กลุ่ม โดยชิ้นงานเซรามิกบนแป้นวัดพลังงานรังสี จากนั้นฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที และอ่านค่าความเข้มแสง เปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปจากกลุ่มควบคุมเป็นร้อยละ

การควบคุมมาตรฐานการวัดด้วยการวัดความเข้มแสงเป็นชุด ในแต่ละชุดจะวัด คราวเดียวกันของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เช่น วัดครั้งที่ 1 ของทุกกลุ่มตัวอย่าง 24 กลุ่ม

### ตอนที่ 2 การวัดความแข็งผิวระดับไมโครของเรซินซีเมนต์

นำชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ที่ยึดติดกับแบบหล่ออะคริลิกไปตรวจวัดความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่างด้านที่ไม่ได้รับแสงด้วยเครื่องวัดความแข็งผิวระดับไมโคร โดยใช้หัวกดรูป ขนาดแรงกด 50 กรัม เป็นเวลา 15 วินาทีต่อ 1 รอยกด ทำการกด 3 ตำแหน่งต่อ 1 ชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ โดยตำแหน่งที่หนึ่ง วัดที่กึ่งกลางชิ้นตัวอย่าง ตำแหน่งที่สอง อยู่เหนือตำแหน่งที่หนึ่ง 1 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่สาม อยู่ใต้ตำแหน่งที่หนึ่ง 1 มิลลิเมตร อ่านค่าความแข็งผิวที่กำลังขยาย 20 เท่า ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวทั้ง 3 ค่า ถือเป็นค่าความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่างนั้น ๆ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แผนภาพแสดงตำแหน่งการวัดความแข็งผิว

### ตอนที่ 3 การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เตรียมชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่ได้รับแสงโดยตรง 2 ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ละ 2 ชิ้น ชั้นที่ 1 นำไปตรวจสภาพผิวหน้าของเรซินซีเมนต์ ชั้นที่ 2 นำไปตรวจลักษณะของวัสดุอัดแทรก โดยขัดผิวชิ้นตัวอย่างด้วยกระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 1200 แล้วทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้าและน้ำกลั่นเป็นเวลา 20 นาที ชั้บแห้ง แล้วยัดชิ้นตัวอย่างบนแท่นอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จากนั้นอบชิ้นตัวอย่างให้แห้งก่อนเคลือบด้วยทอง (SPI-module sputter, SPI Supplies, West Chester, Pa., USA) แล้วนำมาตรวจสภาพผิวและลักษณะของวัสดุอัดแทรก

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS for windows version 17.0) ในการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดค่านัยสำคัญที่ 0.05 โดยวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ ชนิดของเซรามิก และความหนาของเซรามิก ต่อค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three-Way ANOVA) จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยแยกเป็นการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์ ด้วยสถิติการทดสอบที (Independent T-test)



2. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวภายใต้ เซรามิกต่างชนิดกัน ที่มีความหนาเท่ากันด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) แบบทูกีย์ (Tukey's)

3. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวภายใต้ เซรามิกชนิดเดียวกัน ที่มีความหนาต่างกันด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

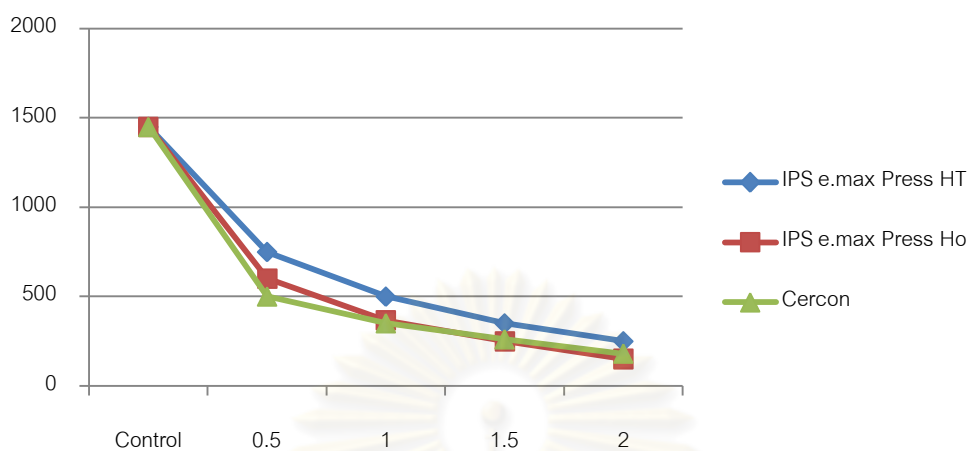
**บทที่ 4**  
**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**

**ค่าความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรม**

แสงจากเครื่องฉายแสงมีค่าความเข้มแสง 1450 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร แต่เมื่อมีชิ้นงานเซรามิกกั้นขวางทิศทางแสง ค่าความเข้มแสงจะลดลง (ตารางที่ 4) และเมื่อชิ้นงานเซรามิกมีความหนาเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มแสงก็จะลดลงตามลำดับในทุกกลุ่มทดลอง (ภาพที่ 7)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยค่าความเข้มแสงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน

ชนิดของเซรามิก	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (มิลลิวัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร)	ค่าความเข้มแสงที่ลดลง (ร้อยละ)
Control		1450.00	
e.max <sup>®</sup> Press HT	0.5	750.00	48.28
e.max <sup>®</sup> Press HT	1.0	500.00	65.52
e.max <sup>®</sup> Press HT	1.5	350.00	75.86
e.max <sup>®</sup> Press HT	2.0	250.00	82.76
e.max <sup>®</sup> Press HO	0.5	600.00	58.62
e.max <sup>®</sup> Press HO	1.0	366.67	72.64
e.max <sup>®</sup> Press HO	1.5	250.00	82.76
e.max <sup>®</sup> Press HO	2.0	150.00	89.66
Cercon <sup>®</sup>	0.5	500.00	65.52
Cercon <sup>®</sup>	1.0	350.00	75.86
Cercon <sup>®</sup>	1.5	260.00	82.07
Cercon <sup>®</sup>	2.0	180.00	87.57



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน

### ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์

(\* รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงไว้ในภาคผนวก)

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบ 3 ทาง (three-way analysis of variances) ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

- มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์อย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )
- มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวได้เซรามิกต่างชนิดกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )
- มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวได้เซรามิกที่มีความหนาต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์และชนิดของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.061$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์และความหนาของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.096$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของชนิดของเซรามิกและความหนาของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.092$ )

- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ ชนิดของเซรามิก และความหนาของเซรามิก ต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.995$ )

จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวโดยแยกเป็นการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์ที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน พบว่าค่าความแข็งผิวของวาริโอดิงควิเนียร์มีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทรีอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในทุกกลุ่มทดลอง (ตารางที่ 5)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ KHN  $\pm$  S.D.

ชนิดของเซรามิก	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าความแข็งผิว	
		วาริโอลิงควี่เนียร์	เน็กซ์สทีรี
Control		21.64 $\pm$ 3.7 <sup>A</sup>	30.28 $\pm$ 1.8 <sup>B</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HT	0.5	19.39 $\pm$ 3.8 <sup>A</sup>	30.16 $\pm$ 1.8 <sup>B</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HT	1.0	18.39 $\pm$ 3.3 <sup>A</sup>	29.80 $\pm$ 2.2 <sup>B</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HT	1.5	17.16 $\pm$ 2.9 <sup>A</sup>	27.79 $\pm$ 1.9 <sup>B</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HT	2.0	15.38 $\pm$ 2.1 <sup>A*</sup>	24.83 $\pm$ 3.3 <sup>B*</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	0.5	19.81 $\pm$ 3.9 <sup>A</sup>	29.48 $\pm$ 2.6 <sup>B</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	1.0	18.15 $\pm$ 3.4 <sup>A</sup>	27.16 $\pm$ 2.4 <sup>B*</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	1.5	16.34 $\pm$ 2.8 <sup>A*</sup>	25.51 $\pm$ 2.3 <sup>B*</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	2.0	13.01 $\pm$ 2.1 <sup>A*</sup>	20.08 $\pm$ 2.6 <sup>B*</sup>
Cercon <sup>®</sup>	0.5	17.66 $\pm$ 3.3 <sup>A</sup>	28.80 $\pm$ 2.3 <sup>B</sup>
Cercon <sup>®</sup>	1.0	16.73 $\pm$ 2.8 <sup>A*</sup>	27.11 $\pm$ 2.5 <sup>B</sup>
Cercon <sup>®</sup>	1.5	14.47 $\pm$ 2.4 <sup>A*</sup>	24.70 $\pm$ 2.7 <sup>B*</sup>
Cercon <sup>®</sup>	2.0	13.15 $\pm$ 3.1 <sup>A*</sup>	21.82 $\pm$ 2.4 <sup>B*</sup>

- ในแต่ละแถว ตัวอักษรภาษาอังกฤษ A และ B แสดงถึงการมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระหว่างเรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์

- ในแต่ละสดมภ์ เครื่องหมาย \* แสดงถึงการมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากค่าในกลุ่มควบคุม

2. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์วาริโอลิงควี่เนียร์ (ตารางที่ 6) และเน็กซ์สทีรี (ตารางที่ 7) เมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดเดียวกันที่มีความหนาต่างกัน ได้ผลดังนี้

2.1) ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควี่เนียร์เมื่อบ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง พบว่า ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควี่เนียร์ที่บ่มตัวใต้ชิ้นงานหนา





ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 1.0 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างจากค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 1.5 มิลลิเมตร แต่มีค่ามากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 2.0 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.6) ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์เมื่อบ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอนพบว่า ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 0.5 มิลลิเมตร มากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 1.0 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างจากค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 1.5 มิลลิเมตร แต่มีค่ามากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่บ่มตัวได้ขึ้นงานหนา 2.0 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์วาริโอลิงควีนีเรียร์ที่บ่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน  $KHN \pm S.D.$

	Variolink Veneer			
	0.5	1.0	1.5	2.0
e.max <sup>®</sup> Press HT	19.39 ± 3.8 <sup>Aa</sup>	18.39 ± 3.3 <sup>ABa</sup>	17.16 ± 2.9 <sup>ABa</sup>	15.38 ± 2.1 <sup>Ba</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	19.81 ± 3.9 <sup>Aa</sup>	18.15 ± 3.4 <sup>ABa</sup>	16.34 ± 2.8 <sup>BCa</sup>	13.01 ± 2.1 <sup>Ca</sup>
Cercon <sup>®</sup>	17.66 ± 3.3 <sup>Aa</sup>	16.73 ± 2.8 <sup>ABa</sup>	14.47 ± 2.4 <sup>BCa</sup>	13.15 ± 3.1 <sup>Ca</sup>

- ในแต่ละแถว ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันแสดงถึงการไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- ในแต่ละสดมภ์ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันแสดงถึงการไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์เน็กซ์ทีรีที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดและความหนาต่างกัน  $KHN \pm S.D.$

	NX3			
	0.5	1.0	1.5	2.0
e.max <sup>®</sup> Press HT	30.16 ± 1.8 <sup>Aa</sup>	29.80 ± 2.2 <sup>Aa</sup>	27.79 ± 1.9 <sup>Aa</sup>	24.83 ± 3.3 <sup>Ba</sup>
e.max <sup>®</sup> Press HO	29.48 ± 2.6 <sup>Aa</sup>	27.16 ± 2.4 <sup>ABb</sup>	25.51 ± 2.3 <sup>BCab</sup>	20.08 ± 2.6 <sup>Cb</sup>
Cercon <sup>®</sup>	28.80 ± 2.3 <sup>Aa</sup>	27.11 ± 2.5 <sup>ABb</sup>	24.70 ± 2.7 <sup>BCbc</sup>	21.82 ± 2.4 <sup>Cb</sup>

- ในแต่ละแถว ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันแสดงถึงการไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- ในแต่ละสดมภ์ ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันแสดงถึงการไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์วาริโอลิงควีนีเยร์ (ตารางที่ 6) และเน็กซ์ทีรี (ตารางที่ 7) เมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกต่างชนิดที่มีความหนาเท่ากัน ได้ผลดังนี้

3.1) ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์เมื่อบ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์ที่บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกทุกชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2) ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์เมื่อบ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์ที่บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกทุกชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.3) ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์เมื่อบ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์ที่บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกทุกชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4) ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์เมื่อบ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์ที่บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกทุกชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.5) ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีเมื่อป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกทุกชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.6) ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีเมื่อป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง มีค่า มากกว่าค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูง และเซอร์คอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

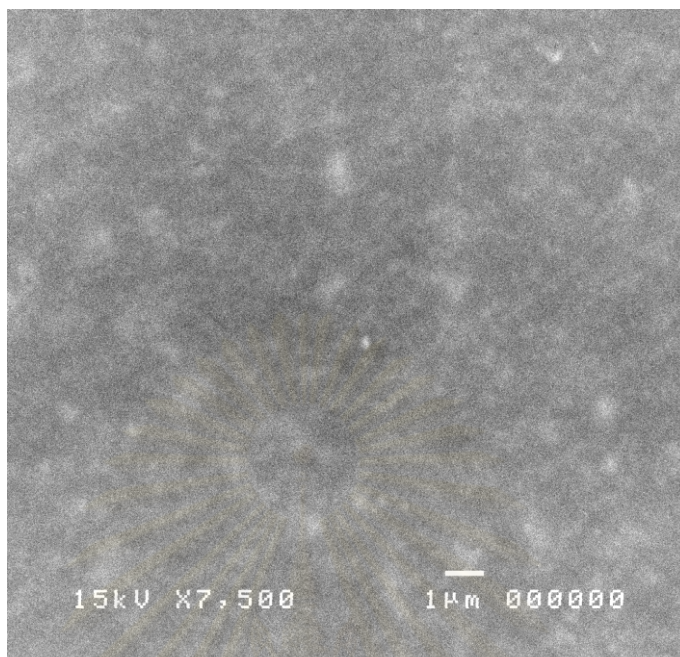
3.7) ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีเมื่อป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง มีค่า มากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกเซอร์คอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูง และเซอร์คอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.8) ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีเมื่อป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตร พบว่า ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง มีค่า มากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานเซรามิกชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็งผิวของเน็กส์ทรีที่ป้อนตัวได้ชิ้นงานไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูง และเซอร์คอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

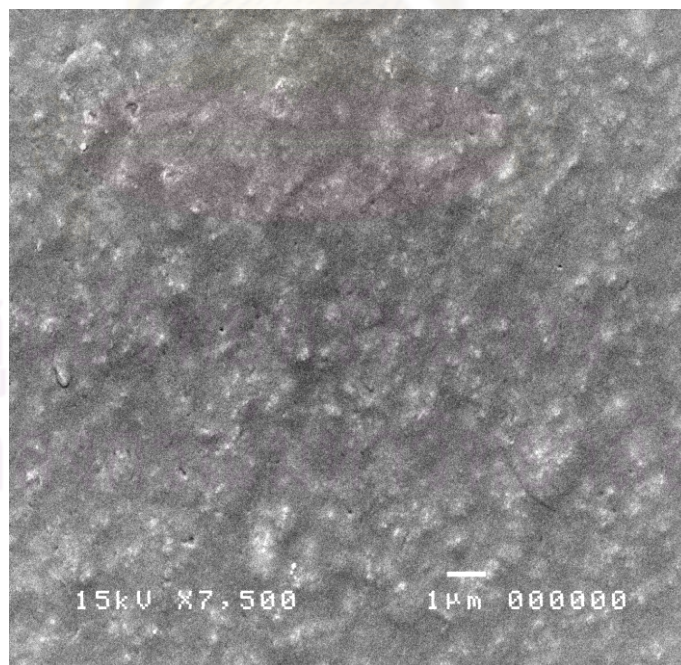
### สัณฐานวิทยาของเรซินซีเมนต์

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน โดยผิวหน้าของวาริโอลิงควีเนียร์มีลักษณะค่อนข้างเรียบ เห็นการกระจายตัวของวัสดุอัดแทรกไม่ชัดเจน (ภาพที่ 8) ส่วนผิวหน้าของเน็กส์ทรีนั้นมีลักษณะขรุขระ และเห็นการกระจายตัวของวัสดุอัดแทรกอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 9) เมื่อตรวจดูลักษณะของวัสดุอัดแทรกพบว่าวัสดุอัดแทรกของวาริโอลิงควีเนียร์มีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กและมีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ (ภาพที่ 10) ส่วนวัสดุอัดแทรกของเน็กส์ทรีมีรูปร่างหลายแบบทั้งทรงกลมขนาดเล็ก และรูปทรงเหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่ กระจายตัวปะปนกัน (ภาพที่ 11)



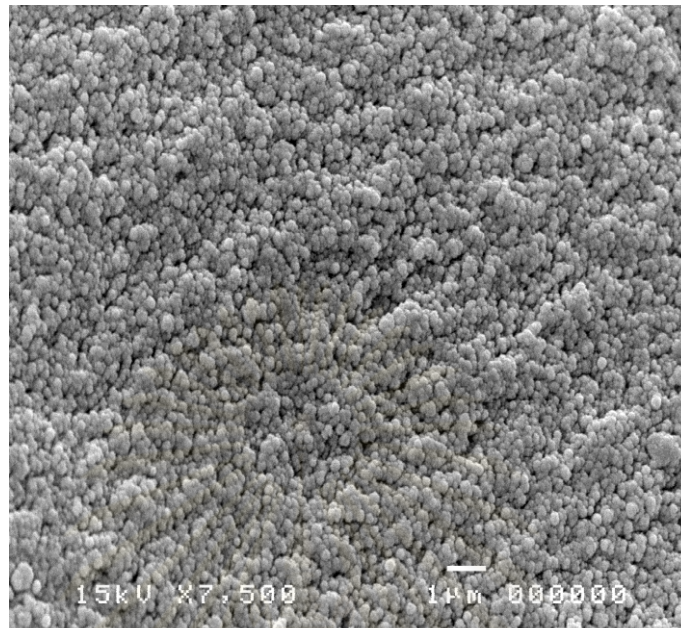


ภาพที่ 8 ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์วาริโอดิงควิเนียร์

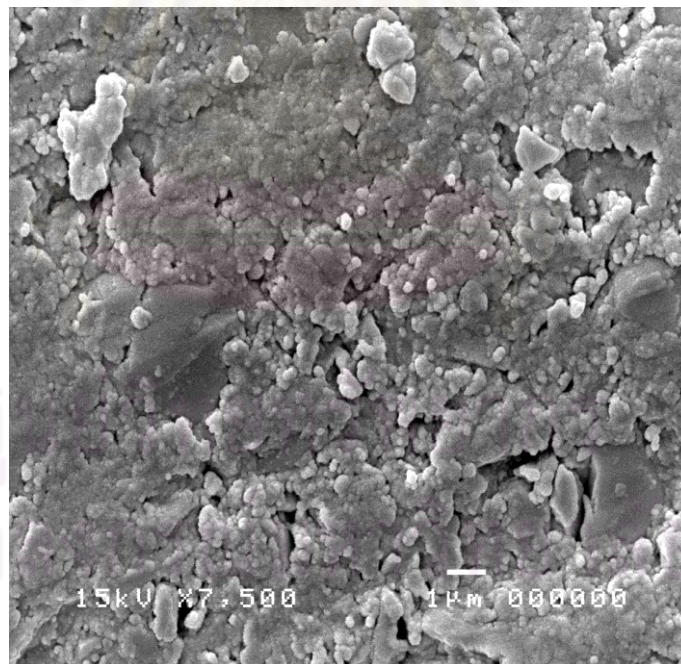


ภาพที่ 9 ผิวหน้าของเรซินซีเมนต์เน็กซ์สทรี





ภาพที่ 10 ลักษณะวัสดุอัดแท่งของวาริโอสดีเอ็นเอ



ภาพที่ 11 ลักษณะวัสดุอัดแท่งของเน็กซ์สที

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### อภิปรายผลการวิจัย

การยืดขึ้นงานบูรณะด้วยเรซินซีเมนต์ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันโดยเฉพาะงานบูรณะฟันด้วยวัสดุเซรามิกล้วน เนื่องจากเรซินซีเมนต์ให้การยึดติดที่ดีระหว่างเนื้อฟันและชิ้นงานบูรณะ<sup>[16]</sup> เรซินซีเมนต์ที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์มีส่วนช่วยให้เกิดการยึดติดที่ดี

ความเข้มแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง มีหลายการศึกษาที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงกับระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุ<sup>[34-36]</sup> โดยพบว่าเมื่อความเข้มแสงที่ใช้กระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง วัสดุจะมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง Rueggeberg และคณะ<sup>[24]</sup> ได้แนะนำให้ใช้แสงที่มีความเข้มแสงอย่างน้อย 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซิน คอมโพสิต และไม่แนะนำให้ใช้เครื่องฉายแสงนั้นหากเครื่องให้กำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงน้อยกว่า 233 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งตามมาตรฐานไอเอสโอได้แนะนำให้ใช้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงอย่างน้อย 300 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร<sup>[23]</sup> ในการศึกษาที่ใช้เครื่องฉายแสงแอลอีดีร่วมกับหลอดนำแสงชนิดปลายเทอริโบ ซึ่งให้กำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงสูงมากเมื่อวัดด้วยเครื่องวัดพลังงานรังสี คือประมาณ 1450 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีผลให้วัสดุเกิด พอลิเมอร์ได้ดี และมีค่าความแข็งผิวสูง ซึ่งเครื่องฉายแสงแอลอีดี ให้แสงที่มีความกลมกลืนมากกว่าเครื่องฉายแสงควอตซ์-ทังสเตน-ฮาโลเจน และเครื่องฉายแสง พลาสมาอาร์ค โดยมีความเข้มแสงเท่า ๆ กันในแต่ละหน่วยพื้นที่ ซึ่งค่าความเข้มแสงนี้สัมพันธ์กับค่าความแข็งผิวของวัสดุ คือวัสดุที่ได้รับแสงจากเครื่องฉายแสงแอลอีดีจะมีความแข็งผิวสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว<sup>[63]</sup> อย่างไรก็ตาม แม้เครื่องฉายแสงแอลอีดีจะให้แสงที่มีความกลมกลืนกันมาก แต่เมื่อใช้กับหลอดนำแสงที่เป็นปลายเทอริโบจะให้ความเข้มแสงสูงและกลมกลืนกันมากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางหลอดนำแสง<sup>[117]</sup> และสัมพันธ์กับความแข็งผิวของวัสดุที่มีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นวัสดุซึ่งตรงกับกึ่งกลางหลอดนำแสง และความแข็งผิวจะลดลงเมื่อระยะห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางมากขึ้น และความแข็งผิวจะน้อยที่สุดที่ขอบวัสดุ<sup>[117]</sup>

เมื่อมีวัสดุเซรามิกกันขวางทิศทางแสงจะทำให้ความเข้มแสงลดลง ซึ่งเป็นผลจากทั้งชนิดสีและความหนาของเซรามิก<sup>[9, 11, 19]</sup> ในการศึกษาพบว่าเมื่อวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัด

พลังงานรังสี ค่าความเข้มแสงที่ผ่านชิ้นงานเซรามิกทุกชนิดที่มีความหนาเพิ่มขึ้น จะมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้<sup>[118]</sup> จึงปฏิเสธสมมติฐานของการวิจัยที่ว่า ปริมาณความเข้มแสงที่สามารถผ่านชิ้นงานเซรามิก 2 ชนิดที่มีความหนาต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน

เซรามิกที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ซึ่งเป็นเซรามิกชนิดแก้วลิเทียม-ไดซิลิเกต จัดเป็นเซรามิกชนิดความโปร่งแสงสูง<sup>[83]</sup> และเซอร์คอนซึ่งเป็นเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียที่มีความแข็งแรงสูงและจัดเป็นเซรามิกชนิดความทึบแสงสูง<sup>[83]</sup> เซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสพัฒนามาจากเซรามิก IPS Empress<sup>®</sup> 2 (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) มีหลายความทึบแสง ได้แก่ ชนิดความโปร่งแสงสูง ชนิดความโปร่งแสงต่ำ (low translucency, LT) ชนิดความทึบแสงสูง และชนิดความทึบแสงปานกลาง (medium opacity, MO) จากการศึกษาของ Lee และคณะ<sup>[119]</sup> วัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงแอลอีดีเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซรามิก IPS Empress<sup>®</sup> 2 ซึ่งเป็นเซรามิกชนิดแก้วลิเทียม-ไดซิลิเกตเช่นเดียวกับเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยชิ้นงานเซรามิกมีความหนา 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเข้มแสงลดลงเมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับในการศึกษานี้ โดยค่าความเข้มแสงจะลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล (exponential decrease)

การกระจายแสงของวัสดุเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสง<sup>[25]</sup> วัสดุทึบแสงนั้นแสงสามารถส่องผ่านและกระจายแสงได้น้อย แสงส่วนใหญ่สะท้อนออกมา ส่วนวัสดุโปร่งแสง แสงส่วนใหญ่สามารถส่องผ่านได้ และมีการสะท้อนแสงน้อย ทำให้แสงส่องผ่านชิ้นงานที่มีความทึบแสงได้น้อยกว่าชิ้นงานที่มีความโปร่งแสง ค่าความเข้มแสงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานเซอร์คอนและไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูงจึงลดลงมากกว่าค่าความเข้มแสงเมื่อฉายแสงผ่านชิ้นงานไอพีเอสอีแมกซ์เพรสที่มีความโปร่งแสงมากกว่า

การวัดความแข็งผิวของวัสดุเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการวัดระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันโดยตรง คือเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ของวัสดุที่เกิดการบ่มตัวแล้ว ซึ่งลักษณะของเครื่องฉายพอลิเมอร์ของวัสดุ โครงสร้างทางเคมี ชนิดและความหนาแน่นของโครงสร้างพอลิเมอร์อาจมีผลต่อค่าความแข็งผิว ดังนั้นการวัดความแข็งผิวจึงใช้ ประเมินลักษณะของวัสดุที่บ่มตัวแล้วได้แม่นยำกว่าการวัดระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันโดยตรง<sup>[120]</sup> ซึ่งค่าความแข็งผิวแบบนูนสัมพันธ์กับระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน<sup>[38, 42, 106]</sup> และสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง<sup>[107-109]</sup> โดยวัสดุที่ได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดี และมีค่าความแข็งผิวแบบนูนสูง ในการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์มีการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่มีขนาด



และความหนาต่าง ๆ กัน ในการเตรียมชิ้นตัวอย่างในการศึกษานี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และหนา 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งพิจารณาจากขนาดหน้าตัดของปลายหลอดนำแสงของเครื่องฉายแสงที่ใช้ซึ่งมีขนาด 8 มิลลิเมตร ทำให้ฉายแสงขึ้นตัวอย่างเพียงครั้งเดียวจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ของชิ้นตัวอย่างได้ทั้งหมด และการวัดความแข็งผิวที่กึ่งกลางชิ้นงาน เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความเข้มแสงสูงและแสงมีความกลมกลืนกันมากกว่าแสงในบริเวณอื่น<sup>[117]</sup> ในการศึกษานี้กำหนดความหนาของชิ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์ 0.5 มิลลิเมตร เป็นความหนาที่น้อยที่สุดที่สามารถควบคุมและทำซ้ำได้โดยใช้แม่แบบพีวีซี แต่ยังไม่สามารถจำลองสภาวะ ในช่องปากได้เหมือนจริงทุกประการ เนื่องจากเมื่อเทียบกับความหนาของซีเมนต์ที่ American National Standards Institute/ American Dental Association (ANSI/ADA) specification No.96 กำหนดไว้ว่า ความหนาของซีเมนต์ประเภทที่ 1 สำหรับยึดชิ้นงานที่ทำจากโลหะมีสกุล (precision restoration) ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ไมโครเมตร และความหนาของแผ่นฟิล์มประเภทที่ 2 สำหรับยึดชิ้นงานประเภทอื่น (all other purposes) ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 ไมโครเมตร<sup>[13]</sup> และในการใช้งานทางคลินิก ช่องว่างระหว่างฟันกับครอบฟันชนิดเซรามิกล้วน (marginal gap) จะมีค่าประมาณ 46-112 ไมโครเมตร<sup>[121]</sup> ขึ้นอยู่กับชนิดของเซรามิกที่เลือกใช้ อย่างไรก็ตามช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานกับฟันควรมีค่าไม่เกิน 120 ไมโครเมตร<sup>[122]</sup> ในการศึกษานี้ ดูค่าความแข็งผิวได้ชิ้นงานในความหนาที่สามารถควบคุมและทำซ้ำได้ และดูผลของความเข้มแสงต่อค่าความแข็งผิวในลักษณะเดียวกันของทุกกลุ่มการศึกษา หากเลือกใช้ ชิ้นงานที่บางกว่านี้ก็จะเกิดความผิดพลาดในระหว่างการทดลอง ไม่สามารถดูผลดังกล่าวได้

ในการวัดความแข็งผิวของชิ้นตัวอย่าง ทำการวัดด้านที่ไม่ได้รับแสงเพื่อแสดงถึง ระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุทั้งชิ้น ความแข็งผิวที่ผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจะมีค่ามากกว่าด้านตรงข้ามที่ไม่ได้รับแสง เนื่องจากด้านตรงข้ามมีระยะห่าง จากปลายหลอดนำแสงมากกว่า นอกจากนี้เมื่อแสงตกกระทบมายังวัสดุ วัสดุจะดูดกลืนแสงไว้และบางส่วนกระจายออกไป ทำให้แสงลดลงเมื่อวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้น ที่ผิวหน้าของวัสดุจะได้รับแสงที่เพียงพอขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ในขณะที่วัสดุที่อยู่ลึกลงไปจะได้รับความเข้มแสงน้อยกว่าเนื่องจากการดูดกลืนแสงและการกระจายแสงของวัสดุ<sup>[21]</sup> ซึ่งเป็นผลจากทั้งส่วนเรซินและวัสดุอัดแทรก<sup>[123]</sup> ดังนั้นความแข็งผิวที่ผิวหน้าของวัสดุที่ได้รับแสงจึงไม่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งผิวบริเวณอื่น ๆ หรือ ระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุนั้น ๆ ได้<sup>[4]</sup> จากการศึกษาข้างต้นพบว่าความแข็งผิวด้านที่รับแสงให้ค่าที่ไม่แน่นอนอีกด้วย นอกจากนี้ชิ้นงานที่นำไปวัดความแข็งผิวแบบนูนจะต้องมีผิวเรียบ<sup>[27]</sup> ซึ่งผิวด้านที่ไม่ได้รับแสงจะสัมผัสกับแผ่นกระจกใสซึ่งทำให้ชิ้นงานมีผิวเรียบกว่า

ในการศึกษานี้ใช้เรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงโดยตรงเป็นตัวเปรียบเทียบ เนื่องจากมีหลายการศึกษาพบว่าเรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงลดลงเนื่องจากมีวัสดุที่ขวางทางแสงจะมีระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง<sup>[17]</sup> และมีค่าความแข็งผิวลดลงด้วย<sup>[19, 20, 113, 114, 124]</sup> โดยมีการควบคุมมาตรฐานของการเตรียมขึ้นตัวอย่างด้วยการเตรียมขึ้นตัวอย่างขึ้นเดียวกันของทุกกลุ่มตัวอย่าง และวัดค่าความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงเมื่อฉายแสงขึ้นตัวอย่างทุก ๆ 10 ครั้ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในการศึกษานี้พบว่า มีความแตกต่างของค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ ชนิดของเซรามิกและความหนาของเซรามิกมีผลต่อค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานของการวิจัย

ในการศึกษานี้เรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิก จะมีค่าความแข็งผิวน้อยกว่าค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงโดยตรง เช่นเดียวกับการศึกษาที่เคยทำมาก่อนหน้านี้<sup>[19, 20, 113, 114, 124]</sup> เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวภายใต้เซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนาเท่ากัน พบว่าค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์ที่ป่มตัวภายใต้เซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนาเท่ากัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกความหนา เช่นเดียวกับเน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร เน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนา 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตรให้ผลเหมือนกันคือ ค่าความแข็งผิวของ เน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงมีค่ามากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูงและเซอร์คอนอย่างมีนัยสำคัญ เน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงมีค่ามากกว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทีร์ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงมีผลต่อค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์น้อยกว่าเซรามิกชนิดอื่นที่มีความทึบแสงมากกว่าโดยเฉพาะเซอร์คอน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Borges และคณะ<sup>[114]</sup> ที่ศึกษาระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ (ชนิดป่มตัวสองรูปแบบ) ที่ป่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความหนา 1 มิลลิเมตร พบว่า เรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวภายใต้เซรามิกชนิดเซอร์โคเนียและอะลูมินาซึ่งมีความทึบแสงสูงจะมีค่าความแข็งผิวน้อยกว่าเรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวภายใต้เซรามิกชนิดแก้ว ดังนั้นองค์



ประกอบของเซรามิกชนิดต่าง ๆ จึงมีผล ต่อการทะลุผ่านของแสงและมีผลกับระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์เมื่อบ่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกที่มีความหนาเท่ากัน พบว่า ค่าความแข็งผิวเรซินซีเมนต์ทั้งสองผลิตภัณฑ์ ที่บ่มตัวใต้ขึ้นงานเซรามิกทุกชนิดที่มีความหนาต่างกัมนั้นจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูงและเซอร์คอนมีความแตกต่างกันมากกว่าค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวใต้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง เซรามิกที่มีความโปร่งแสงสูงทำให้แสงทะลุผ่านได้ดีกว่าเซรามิกที่มีความทึบแสง<sup>[20]</sup> ความหนาจึงมีผลต่อการทะลุผ่านของแสงน้อย นอกจากนี้ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ 2 ผลิตภัณฑ์ ในแต่ละ ชนิดของเซรามิกมีความแตกต่างกัน ดังนั้นนอกจากความทึบแสงของเซรามิกแล้ว ผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์<sup>[20]</sup> ในการศึกษาพบว่าค่าความแข็งผิวของเน็กซ์สทรีมีค่ามากกว่าค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์ในทุกกลุ่มศึกษา อาจเนื่องจากเรซินซีเมนต์สองชนิดนี้มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันทั้งปริมาณและขนาดของวัสดุอุดแทรก โดยเน็กซ์สทรีมีปริมาณวัสดุอุดแทรกร้อยละ 47.7 โดยปริมาตร ส่วนวาริโอลิงควีเนียร์มีปริมาณวัสดุอุดแทรกร้อยละ 40 โดยปริมาตร ส่งผลให้มีค่าความแข็งผิวน้อยกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Hofmann<sup>[125]</sup> และเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าผิวหน้าของวาริโอลิงควีเนียร์จะมีลักษณะเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเน็กซ์สทรี ซึ่งมีลักษณะหยาบและมองเห็นวัสดุอุดแทรกอยู่ทั่วไป วาริโอลิงควีเนียร์จัดเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดไมโครฟิลล์ มี วัสดุอุดแทรกขนาด 40-300 นาโนเมตร ในการศึกษาพบว่า วัสดุอุดแทรกของวาริโอลิงควีเนียร์มีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดเล็ก และมีขนาดสม่ำเสมอ ส่วนเน็กซ์สทรีมี วัสดุอุดแทรกขนาดเล็กใหญ่ปะปนกันและมีรูปร่างหลายแบบ จัดเป็นเรซินซีเมนต์ชนิดไฮบริด ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความทนแรงดัด ดีกว่าชนิดไมโครฟิลล์<sup>[126]</sup> ขนาดของวัสดุอุดแทรกนี้มีความสำคัญต่อการกระจายแสงของวัสดุ วัสดุชนิดไมโครฟิลล์ซึ่งมี วัสดุอุดแทรกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 0.04 ไมโครเมตร เมื่อแสงมาตกกระทบจะเกิดการกระจายแสงมาก จึงต้องการพลังงานในการเกิดพอลิเมอร์มากกว่าวัสดุชนิดอื่น หากฉายแสงในระยะเวลาเท่ากันกับวัสดุชนิดไฮบริดแล้วจะมีความแข็งผิวน้อยกว่าวัสดุชนิดไฮบริด<sup>[59, 69]</sup> ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์และเน็กซ์สทรีในการศึกษา

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีวัสดุกันขวางทิศทางแสง ทำให้ค่าความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงทางทันตกรรมลดลง และเรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงที่มีความเข้มแสงน้อย มีค่าความแข็งผิวน้อยกว่าเรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงที่มีความเข้มแสงมากกว่า แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันน้อยกว่า แต่ค่าความแข็งผิวนั้นไม่สามารถใช้ทำนายอัตราการเกิดพอลิเมอร์ในการเปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุต่างชนิดและต่างการศึกษากันได้<sup>[106]</sup> ดังนั้นค่าความแข็งผิวที่วัดได้จึงเป็นค่าเฉพาะสำหรับการศึกษานั้น ๆ

นอกจากนี้ในการศึกษานี้ใช้เครื่องฉายแสงแอลอีดีซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงมากและวางปลายหลอดนำแสงชิดกับผิววัสดุ ซึ่งค่าความเข้มแสงอาจต่างจากค่าความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงในคลินิกทางทันตกรรมทั่วไป ทันตแพทย์จึงควรระมัดระวังในการเลือกใช้เครื่องฉายแสงที่มีความเข้มแสงน้อย และการวางปลายหลอดนำแสงห่างจากผิววัสดุซึ่งเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านอากาศก็มีผลทำให้ความเข้มแสงลดลงเช่นกัน<sup>[77, 78]</sup> ซึ่งอาจทำให้ได้ผลต่างจากในการศึกษานี้ ในการศึกษานี้พบว่าเรซินซีเมนต์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้แม้ได้รับความเข้มแสงน้อยกว่า 300 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร แต่การเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุอาจเกิดได้ไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและชีวภาพของวัสดุ<sup>[3]</sup> จึงควรเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงเพื่อให้วัสดุได้รับพลังงานเพียงพอและเกิดพอลิเมอร์ได้ดี<sup>[107, 109]</sup> หรือใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบซึ่งจะเกิดพอลิเมอร์ได้ดีแม้ได้รับพลังงานแสงไม่เพียงพอ<sup>[109, 125]</sup> ในทางคลินิกนั้น ครอบฟันซี่หนึ่ง ๆ มีมิติการเตรียมฟันในแต่ละบริเวณต่างกัน<sup>[127]</sup> ทำให้ความหนาของเซรามิกแต่ละบริเวณต่างกัน ส่งผลให้แสงที่ผ่านไปยังเรซินซีเมนต์ข้างใต้มีความเข้มแสงแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณด้วย นอกจากนี้ครอบฟันเซรามิกล้วนยังมีส่วนของวัสดุวีเนียร์ ซึ่งเมื่อฉายแสงผ่านวัสดุแกนและวัสดุวีเนียร์ ค่าความเข้มแสง ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าเมื่อฉายแสงผ่านวัสดุแกนเพียงอย่างเดียว<sup>[11]</sup> ดังนั้นการใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองรูปแบบจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการยึดชิ้นงาน เพื่อแก้ไขปัญหาการบ่มตัวไม่สมบูรณ์ของเรซินซีเมนต์ เมื่อได้รับแสงไม่เพียงพอ

### สรุปผลการวิจัย

1. เมื่อมีวัสดุกันขวางทิศทางแสง เช่น เซรามิก ทำให้ค่าความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงแอลอีดีลดลง และค่าความเข้มแสงจะลดลงมากขึ้น เมื่อความหนาของเซรามิกเพิ่มขึ้น
2. ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่บ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกซึ่งได้รับแสงที่มีความเข้มแสงลดลงจากกลุ่มควบคุม จะมีค่าลดลง โดยเซรามิกที่มีความทึบแสงและมี

ความหนาแน่นจะทำให้ความเข้มแสงและความเข้มผิวของเรซินซีเมนต์ลดลงมากกว่าเซรามิกที่มีความโปร่งแสงมากหรือความหนาแน่นน้อยกว่า

3. ค่าความเข้มผิวของเรซินซีเมนต์เน็กซ์สทรีมีค่ามากกว่าค่าความเข้มผิวของเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีเนียร์ในทุกกลุ่มการศึกษา องค์ประกอบของเรซินซีเมนต์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์

### ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้ใช้ระยะเวลาในการฉายแสงขึ้นตัวอย่างเรซินซีเมนต์เท่ากันในทุกกลุ่มการศึกษา คือ 40 วินาที ซึ่งแม้ในกลุ่มที่ได้รับความเข้มแสงน้อย วัสดุยังสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ แต่ส่งผลให้ค่าความเข้มผิวของวัสดุน้อยกว่าในกลุ่มควบคุม การเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงให้นานขึ้น เพื่อให้มีพลังงานแสงมากเพียงพอและเหมาะสมในการกระตุ้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน น่าจะทำให้วัสดุมี ระดับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่ดีและมีคุณสมบัติที่ดี จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] Jacobsen, P.H., and Rees, J.S. Luting agents for ceramic and polymeric inlays and onlays. Int Dent J 42 (Jun 1992):145-9.
- [2] Anusavice, K.J. Phillips' science of dental materials. 11th ed. St. Louis: Elsevier; 2003.
- [3] Caughman, W.F., Caughman, G.B., Shiflett, R.A., Rueggeberg, F., and Schuster, G.S. Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. Biomaterials 12 (Oct 1991):737-40.
- [4] Pires, J.A., Cvitko, E., Denehy, G.E., and Swift, E.J., Jr. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. Quintessence Int 24 (Jul 1993):517-21.
- [5] Janda, R., Roulet, J.F., Kaminsky, M., Steffin, G., and Latta, M. Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. Eur J Oral Sci 112 (Jun 2004):280-5.
- [6] Goldberg, M. In vitro and in vivo studies on the toxicity of dental resin components: a review. Clin Oral Investig 12 (Mar 2008):1-8.
- [7] Nomoto, R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mater J 16 (Jun 1997):60-73.
- [8] Taira, M., Urabe, H., Hirose, T., Wakasa, K., and Yamaki, M. Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composite resins. J Dent Res 67 (Jan 1988):24-8.
- [9] Jung, H., Friedl, K.H., Hiller, K.A., Furch, H., Bernhart, S., and Schmalz, G. Polymerization efficiency of different photocuring units through ceramic discs. Oper Dent 31 (Jan-Feb 2006):68-77.
- [10] Jung, H., Friedl, K.H., Hiller, K.A., Haller, A., and Schmalz, G. Curing efficiency of different polymerization methods through ceramic restorations. Clin Oral Investig 5 (Sep 2001):156-61.

- [11] Rasetto, F.H., Driscoll, C.F., Prestipino, V., Masri, R., and von Fraunhofer, J.A. Light transmission through all-ceramic dental materials: a pilot study. J Prosthet Dent 91 (May 2004):441-6.
- [12] Soares, C.J., da Silva, N.R., and Fonseca, R.B. Influence of the feldspathic ceramic thickness and shade on the microhardness of dual resin cement. Oper Dent 31 (May-Jun 2006):384-9.
- [13] Rosenstiel, S.F., Land, M.F., and Crispin, B.J. Dental luting agents: A review of the current literature. J Prosthet Dent 80 (Sep 1998):280-301.
- [14] Michelini, F.S., Belser, U.C., Scherrer, S.S., and De Rijk, W.G. Tensile bond strength of gold and porcelain inlays to extracted teeth using three cements. Int J Prosthodont 8 (Jul-Aug 1995):324-31.
- [15] el-Badrawy, W.A., and el-Mowafy, O.M. Chemical versus dual curing of resin inlay cements. J Prosthet Dent 73 (Jun 1995):515-24.
- [16] Caughman, W.F., Chan, D.C., and Rueggeberg, F.A. Curing potential of dual-polymerizable resin cements in simulated clinical situations. J Prosthet Dent 86 (Jul 2001):101-6.
- [17] Tezvergil-Mutluay, A., Lassila, L.V., and Vallittu, P.K. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polymerized through various materials. Acta Odontol Scand 65 (Aug 2007):201-5.
- [18] Burgess, J.O., Walker, R.S., Porche, C.J., and Rappold, A.J. Light curing--an update. Compend Contin Educ Dent 23 (Oct 2002):889-92, 94, 96 passim; quiz 908.
- [19] el-Mowafy, O.M., Rubo, M.H., and el-Badrawy, W.A. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. Oper Dent 24 (Jan-Feb 1999):38-44.
- [20] Uctasli, S., Hasanreisoglu, U., and Wilson, H.J. The attenuation of radiation by porcelain and its effect on polymerization of resin cements. J Oral Rehabil 21 (Sep 1994):565-75.



- [21] Yap, A.U. Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. Oper Dent 25 (Mar-Apr 2000):113-20.
- [22] Owens, B.M. Evaluation of curing performance of light-emitting polymerization units. Gen Dent 54 (Jan-Feb 2006):17-20.
- [23] Fan, P.L., Schumacher, R.M., Azzolin, K., Geary, R., and Eichmiller, F.C. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. J Am Dent Assoc 133 (Apr 2002):429-34; quiz 91-3.
- [24] Rueggeberg, F.A., Caughman, W.F., and Curtis, J.W., Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent 19 (Jan-Feb 1994):26-32.
- [25] Ruyter, I.E., and Oysaed, H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. Acta Odontol Scand 40 (1982):179-92.
- [26] Cook, W.D. Spectral distributions of dental photopolymerization sources. J Dent Res 61 (Dec 1982):1436-8.
- [27] Craig, R.G., and Powers, J.M., editors. Restorative dental materials. 11th ed. St. Louis: Mosby; 2002.
- [28] Koran, P., and Kurschner, R. Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. Am J Dent 11 (Feb 1998):17-22.
- [29] Barghi, N., Berry, T., and Hatton, C. Evaluating intensity output of curing lights in private dental offices. J Am Dent Assoc 125 (Jul 1994):992-6.
- [30] Rueggeberg, F.A. Precision of hand-held dental radiometers. Quintessence Int 24 (Jun 1993):391-6.
- [31] El-Mowafy, O., El-Badrawy, W., Lewis, D.W., Shokati, B., Kermalli, J., Soliman, O., et al. Intensity of quartz-tungsten-halogen light-curing units used in private practice in Toronto. J Am Dent Assoc 136 (Jun 2005):766-73; quiz 806-7.

- [32] Shortall, A.C., Harrington, E., and Wilson, H.J. Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers. J Dent 23 (Aug 1995):227-32.
- [33] Hansen, E.K., and Asmussen, E. Reliability of three dental radiometers. Scand J Dent Res 101 (Apr 1993):115-9.
- [34] McCabe, J.F., and Carrick, T.E. Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 68 (Nov 1989):1534-9.
- [35] Fowler, C.S., Swartz, M.L., and Moore, B.K. Efficacy testing of visible-light-curing units. Oper Dent 19 (Mar-Apr 1994):47-52.
- [36] Yearn, J.A. Factors affecting cure of visible light activated composites. Int Dent J 35 (Sep 1985):218-25.
- [37] Ferracane, J.L., and Greener, E.H. Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins--methods comparison. J Dent Res 63 (Aug 1984):1093-5.
- [38] Ferracane, J.L., Aday, P., Matsumoto, H., and Marker, V.A. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. Dent Mater 2 (Apr 1986):80-4.
- [39] Rode, K.M., Kawano, Y., and Turbino, M.L. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. Oper Dent 32 (Nov-Dec 2007):571-8.
- [40] Pereira, S.G., Osorio, R., Toledano, M., and Nunes, T.G. Evaluation of two Bis-GMA analogues as potential monomer diluents to improve the mechanical properties of light-cured composite resins. Dent Mater 21 (Sep 2005):823-30.
- [41] DeWald, J.P., and Ferracane, J.L. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 66 (Mar 1987):727-30.
- [42] Rueggeberg, F.A., and Craig, R.G. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. J Dent Res 67 (Jun 1988):932-7.

- [43] Rueggeberg, F.A., Ergle, J.W., and Mettenberg, D.J. Polymerization depths of contemporary light-curing units using microhardness. J Esthet Dent 12 (2000):340-9.
- [44] Jimenez-Planas, A., Martin, J., Abalos, C., and Llamas, R. Developments in polymerization lamps. Quintessence Int 39 (Feb 2008):e74-84.
- [45] Miyazaki, M., Hattori, T., Ichiishi, Y., Kondo, M., Onose, H., and Moore, B.K. Evaluation of curing units used in private dental offices. Oper Dent 23 (Mar-Apr 1998):50-4.
- [46] Jandt, K.D., Mills, R.W., Blackwell, G.B., and Ashworth, S.H. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). Dent Mater 16 (Jan 2000):41-7.
- [47] Owens, B.M., and Rodriguez, K.H. Radiometric and spectrophotometric analysis of third generation light-emitting diode (LED) light-curing units. J Contemp Dent Pract 8 (2007):43-51.
- [48] Uhl, A., Sigusch, B.W., and Jandt, K.D. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. Dent Mater 20 (Jan 2004):80-7.
- [49] Mills, R.W., Jandt, K.D., and Ashworth, S.H. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. Br Dent J 186 (Apr 24 1999):388-91.
- [50] Stahl, F., Ashworth, S.H., Jandt, K.D., and Mills, R.W. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. Biomaterials 21 (Jul 2000):1379-85.
- [51] Uhl, A., Mills, R.W., and Jandt, K.D. Polymerization and light-induced heat of dental composites cured with LED and halogen technology. Biomaterials 24 (May 2003):1809-20.
- [52] Wiggins, K.M., Hartung, M., Althoff, O., Wastian, C., and Mitra, S.B. Curing performance of a new-generation light-emitting diode dental curing unit. J Am Dent Assoc 135 (Oct 2004):1471-9.

- [53] Yap, A.U., and Soh, M.S. Thermal emission by different light-curing units. Oper Dent 28 (May-Jun 2003):260-6.
- [54] Hammesfahr, P.D., O'Connor, M.T., and Wang, X. Light-curing technology: past, present, and future. Compend Contin Educ Dent 23 (Sep 2002):18-24.
- [55] Leonard, D.L., Charlton, D.G., Roberts, H.W., and Cohen, M.E. Polymerization efficiency of LED curing lights. J Esthet Restor Dent 14 (2002):286-95.
- [56] Price, R.B., Ehrnford, L., Andreou, P., and Felix, C.A. Comparison of quartz-tungsten-halogen, light-emitting diode, and plasma arc curing lights. J Adhes Dent 5 (Fall 2003):193-207.
- [57] Dunn, W.J., and Bush, A.C. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. J Am Dent Assoc 133 (Mar 2002):335-41.
- [58] Bala, O., Olmez, A., and Kalayci, S. Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. J Oral Rehabil 32 (Feb 2005):134-40.
- [59] Price, R.B., Felix, C.A., and Andreou, P. Evaluation of a second-generation LED curing light. J Can Dent Assoc 69 (Nov 2003):666.
- [60] Campregher, U.B., Samuel, S.M., Fortes, C.B., Medina, A.D., Collares, F.M., and Ogliari, F.A. Effectiveness of second-generation light-emitting diode (LED) light curing units. J Contemp Dent Pract 8 (2007):35-42.
- [61] Price, R.B., Felix, C.A., and Andreou, P. Evaluation of a dual peak third generation LED curing light. Compend Contin Educ Dent 26 (May 2005):331-2, 34, 36-8 passim; quiz 48.
- [62] Knezevic, A., Tarle, Z., Meniga, A., Sutalo, J., and Pichler, G. Influence of light intensity from different curing units upon composite temperature rise. J Oral Rehabil 32 (May 2005):362-7.
- [63] Arikawa, H., Kanie, T., Fujii, K., Takahashi, H., and Ban, S. Effect of inhomogeneity of light from light curing units on the surface hardness of composite resin. Dent Mater J 27 (Jan 2008):21-8.

- [64] Abate, P.F., Zahra, V.N., and Macchi, R.L. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. J Prosthet Dent 86 (Dec 2001):632-5.
- [65] Yap, A.U., and Seneviratne, C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. Oper Dent 26 (Sep-Oct 2001):460-6.
- [66] Nomoto, R., Asada, M., McCabe, J.F., and Hirano, S. Light exposure required for optimum conversion of light activated resin systems. Dent Mater 22 (Dec 2006):1135-42.
- [67] Lindberg, A., Peutzfeldt, A., and van Dijken, J.W. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. Clin Oral Investig 9 (Jun 2005):71-6.
- [68] Bennett, A.W., and Watts, D.C. Performance of two blue light-emitting-diode dental light curing units with distance and irradiation-time. Dent Mater 20 (Jan 2004):72-9.
- [69] Price, R.B., Felix, C.A., and Andreou, P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. Biomaterials 25 (Aug 2004):4465-77.
- [70] Hofmann, N., Denner, W., Hugo, B., and Klaiber, B. The influence of plasma arc vs. halogen standard or soft-start irradiation on polymerization shrinkage kinetics of polymer matrix composites. J Dent 31 (Aug 2003):383-93.
- [71] Peutzfeldt, A., Sahafi, A., and Asmussen, E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. Dent Mater 16 (Sep 2000):330-6.
- [72] Leonard, D.L., Charlton, D.G., and Hilton, T.J. Effect of curing-tip diameter on the accuracy of dental radiometers. Oper Dent 24 (Jan-Feb 1999):31-7.
- [73] Nitta, K. Effect of light guide tip diameter of LED-light curing unit on polymerization of light-cured composites. Dent Mater 21 (Mar 2005):217-23.
- [74] Nomoto, R., McCabe, J.F., and Hirano, S. Effect of aperture size on irradiance of LED curing units. Dent Mater 20 (Sep 2004):687-92.
- [75] Harrington, L., and Wilson, H.J. Determination of radiation energy emitted by light activation units. J Oral Rehabil 22 (May 1995):377-85.



- [76] Felix, C.A., and Price, R.B. The effect of distance from light source on light intensity from curing lights. J Adhes Dent 5 (Winter 2003):283-91.
- [77] Prati, C., Chersoni, S., Montebugnoli, L., and Montanari, G. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. Am J Dent 12 (Oct 1999):231-4.
- [78] Halvorson, R.H., Erickson, R.L., and Davidson, C.L. Energy dependent polymerization of resin-based composite. Dent Mater 18 (Sep 2002):463-9.
- [79] Soh, M.S., Yap, A.U., and Siow, K.S. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. Oper Dent 29 (Jan-Feb 2004):9-15.
- [80] Corciolani, G., Vichi, A., Davidson, C.L., and Ferrari, M. The influence of tip geometry and distance on light-curing efficacy. Oper Dent 33 (May-Jun 2008):325-31.
- [81] Peutzfeldt, A., and Asmussen, E. Resin composite properties and energy density of light cure. J Dent Res 84 (Jul 2005):659-62.
- [82] Rosenstiel SF, L.M., Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. . 4th ed. St Louis: Elsevier Health Sciences; 2006.
- [83] Conrad, H.J., Seong, W.J., and Pesun, I.J. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. J Prosthet Dent 98 (Nov 2007):389-404.
- [84] McLaren, E.A. All-ceramic alternatives to conventional metal-ceramic restorations. Compend Contin Educ Dent 19 (Mar 1998):307-8, 10, 12 passim; quiz 26.
- [85] Heffernan, M.J., Aquilino, S.A., Diaz-Arnold, A.M., Haselton, D.R., Stanford, C.M., and Vargas, M.A. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. J Prosthet Dent 88 (Jul 2002):10-5.
- [86] Heffernan, M.J., Aquilino, S.A., Diaz-Arnold, A.M., Haselton, D.R., Stanford, C.M., and Vargas, M.A. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. J Prosthet Dent 88 (Jul 2002):4-9.

- [87] Wagner, W.C., and Chu, T.M. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. J Prosthet Dent 76 (Aug 1996):140-4.
- [88] Wohlwend, A., Strub, J.R., and Scharer, P. Metal ceramic and all-porcelain restorations: current considerations. Int J Prosthodont 2 (Jan-Feb 1989):13-26.
- [89] Cattell, M.J., Knowles, J.C., Clarke, R.L., and Lynch, E. The biaxial flexural strength of two pressable ceramic systems. J Dent 27 (Mar 1999):183-96.
- [90] Holand, W., Schweiger, M., Frank, M., and Rheinberger, V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. J Biomed Mater Res 53 (2000):297-303.
- [91] Quinn, J.B., Sundar, V., and Lloyd, I.K. Influence of microstructure and chemistry on the fracture toughness of dental ceramics. Dent Mater 19 (Nov 2003):603-11.
- [92] Stappert, C.F., Att, W., Gerds, T., and Strub, J.R. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. J Am Dent Assoc 137 (Apr 2006):514-22.
- [93] Stappert, C.F., Stathopoulou, N., Gerds, T., and Strub, J.R. Survival rate and fracture strength of maxillary incisors, restored with different kinds of full veneers. J Oral Rehabil 32 (Apr 2005):266-72.
- [94] Wolfart, S., Eschbach, S., Scherrer, S., and Kern, M. Clinical outcome of three-unit lithium-disilicate glass-ceramic fixed dental prostheses: up to 8 years results. Dent Mater 25 (Sep 2009):e63-71.
- [95] Piconi, C., and Maccauro, G. Zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials 20 (Jan 1999):1-25.
- [96] Denry, I., and Kelly, J.R. State of the art of zirconia for dental applications. Dent Mater 24 (Mar 2008):299-307.
- [97] Beuer, F., Schweiger, J., and Edelhoff, D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J 204 (May 10 2008):505-11.

- [98] Piwowarczyk, A., Ottl, P., Lauer, H.C., and Kuretzky, T. A clinical report and overview of scientific studies and clinical procedures conducted on the 3M ESPE Lava All-Ceramic System. J Prosthodont 14 (Mar 2005):39-45.
- [99] Luthardt, R.G., Holzhuter, M.S., Rudolph, H., Herold, V., and Walter, M.H. CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia. Dent Mater 20 (Sep 2004):655-62.
- [100] Luthy, H., Filser, F., Loeffel, O., Schumacher, M., Gauckler, L.J., and Hammerle, C.H. Strength and reliability of four-unit all-ceramic posterior bridges. Dent Mater 21 (Oct 2005):930-7.
- [101] Yilmaz, H., Aydin, C., and Gul, B.E. Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. J Prosthet Dent 98 (Aug 2007):120-8.
- [102] Pazin, M.C., Moraes, R.R., Goncalves, L.S., Borges, G.A., Sinhoreti, M.A., and Correr-Sobrinho, L. Effects of ceramic thickness and curing unit on light transmission through leucite-reinforced material and polymerization of dual-cured luting agent. J Oral Sci 50 (Jun 2008):131-6.
- [103] Willems, G., Celis, J.P., Lambrechts, P., Braem, M., and Vanherle, G. Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. J Biomed Mater Res 27 (Jun 1993):747-55.
- [104] Ryge, G., Foley, D.E., and Fairhurst, C.W. Micro-indentation hardness. J Dent Res 40(1961):1116-25.
- [105] เจน รัตน์ไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิชย์; 2522.
- [106] Ferracane, J.L. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. Dent Mater 1 (Feb 1985):11-4.
- [107] Rasetto, F.H., Driscoll, C.F., and von Fraunhofer, J.A. Effect of light source and time on the polymerization of resin cement through ceramic veneers. J Prosthodont 10 (Sep 2001):133-9.

- [108] Moraes, R.R., Brandt, W.C., Naves, L.Z., Correr-Sobrinho, L., and Piva, E. Light- and time-dependent polymerization of dual-cured resin luting agent beneath ceramic. Acta Odontol Scand 66 (Oct 2008):257-61.
- [109] Santos, G.C., Jr., El-Mowafy, O., Rubo, J.H., and Santos, M.J. Hardening of dual-cure resin cements and a resin composite restorative cured with QTH and LED curing units. J Can Dent Assoc 70 (May 2004):323-8.
- [110] Leung, R.L., Adishian, S.R., and Fan, P.L. Postirradiation comparison of photoactivated composite resins. J Prosthet Dent 54 (Nov 1985):645-9.
- [111] Watts, D.C., McNaughton, V., and Grant, A.A. The development of surface hardness in visible light-cured posterior composites. J Dent 14 (Aug 1986):169-74.
- [112] Meng, X., Yoshida, K., and Atsuta, M. Hardness development of dual-cured resin cements through different thicknesses of ceramics. Dent Mater J 25 (Mar 2006):132-7.
- [113] Meng, X., Yoshida, K., and Atsuta, M. Influence of ceramic thickness on mechanical properties and polymer structure of dual-cured resin luting agents. Dent Mater 24 (May 2008):594-9.
- [114] Borges, G.A., Agarwal, P., Miranzi, B.A., Platt, J.A., Valentino, T.A., and dos Santos, P.H. Influence of different ceramics on resin cement Knoop Hardness Number. Oper Dent 33 (Nov-Dec 2008):622-8.
- [115] Piva, E., Correr-Sobrinho, L., Sinhoret, M.A., Consani, S., Demarco, F.F., and Powers, J.M. Influence of energy density of different light sources on Knoop hardness of a dual-cured resin cement. J Appl Oral Sci 16 (May-Jun 2008):189-93.
- [116] Pegoraro, T.A., da Silva, N.R., and Carvalho, R.M. Cements for use in esthetic dentistry. Dent Clin North Am 51 (Apr 2007):453-71, x.
- [117] Vandewalle, K.S., Roberts, H.W., and Rueggeberg, F.A. Power distribution across the face of different light guides and its effect on composite surface microhardness. J Esthet Restor Dent 20 (2008):108-17; discussion 18.

- [118] Koch, A., Kroeger, M., Hartung, M., Manetsberger, I., Hiller, K.A., Schmalz, G., et al. Influence of ceramic translucency on curing efficacy of different light-curing units. J Adhes Dent 9 (Oct 2007):449-62.
- [119] Lee, I.B., An, W., Chang, J., and Um, C.M. Influence of ceramic thickness and curing mode on the polymerization shrinkage kinetics of dual-cured resin cements. Dent Mater 24 (Aug 2008):1141-7.
- [120] Musanje, L., and Darvell, B.W. Curing-light attenuation in filled-resin restorative materials. Dent Mater 22 (Sep 2006):804-17.
- [121] Yeo, I.S., Yang, J.H., and Lee, J.B. In vitro marginal fit of three all-ceramic crown systems. J Prosthet Dent 90 (Nov 2003):459-64.
- [122] McLean, J.W., and von Fraunhofer, J.A. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J 131 (Aug 1971):107-11.
- [123] Rueggeberg, F. Contemporary issues in photocuring. Compend Contin Educ Dent Suppl (Nov 1999):S4-15; quiz S73.
- [124] Blackman, R., Barghi, N., and Duke, E. Influence of ceramic thickness on the polymerization of light-cured resin cement. J Prosthet Dent 63 (Mar 1990):295-300.
- [125] Hofmann, N., Papsthart, G., Hugo, B., and Klaiber, B. Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. J Oral Rehabil 28 (Nov 2001):1022-8.
- [126] Blackham, J.T., Vandewalle, K.S., and Lien, W. Properties of hybrid resin composite systems containing prepolymerized filler particles. Oper Dent 34 (Nov-Dec 2009):697-702.
- [127] Goodacre, C.J., Campagni, W.V., and Aquilino, S.A. Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles. J Prosthet Dent 85 (Apr 2001):363-76.





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีเนียร์เมื่อบ่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิก  
ไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	16.4667	16.1667	15.3000	15.2000
2	15.5000	14.2333	13.8333	15.1333
3	14.2333	14.2000	14.1000	13.6667
4	23.2000	21.9000	20.6000	13.7333
5	22.4667	21.6333	21.2000	19.0000
6	22.7667	20.9333	18.5333	17.0000
7	22.8000	21.1333	17.7000	17.1333
8	22.0000	19.1000	18.8330	15.9000
9	20.9000	20.4333	19.5667	15.8000
10	20.3333	19.8000	18.3667	16.3000
11	19.6667	18.8333	16.6000	15.0333
12	12.3667	12.2667	11.3333	10.6000
Mean	19.391667	18.386111	17.163861	15.375000
Std. Deviation	3.7739170	3.3162123	2.9929195	2.1063696

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีเนียร์เมื่อบ่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิก  
ไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูงที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	16.5333	16.8333	14.9000	11.4333
2	15.9333	13.4000	13.1667	11.4667
3	14.6000	14.3667	14.2333	11.0667
4	24.4333	22.0333	21.2667	16.4000
5	23.0333	21.1667	18.1667	15.2000
6	23.2333	21.3667	18.5667	14.6667
7	23.2333	19.8333	19.0000	14.1667
8	20.9000	19.8000	16.7670	13.3670
9	21.8000	19.7000	17.1667	13.7667
10	21.9667	19.5333	16.7333	13.2333
11	19.0333	18.3667	15.3333	12.6667
12	13.0000	11.4000	10.7667	8.6333
Mean	19.808317	18.150000	16.338917	13.005583
Std. Deviation	3.8717048	3.4194482	2.8495600	2.1113901

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีเนียร์เมื่อบ่มตัวภายใต้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอนที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	16.2333	15.8333	13.2000	12.4333
2	15.0667	14.6667	11.9667	11.7333
3	14.0667	13.7667	13.5333	11.3333
4	13.2000	12.8000	11.3333	11.4000
5	21.4667	20.4000	17.9000	17.6667
6	19.5333	18.4667	16.8667	15.7667
7	21.1000	18.0000	16.1000	15.6667
8	18.8330	18.4330	16.5330	14.8330
9	20.8333	18.5667	16.0000	15.9667
10	20.9333	19.6000	16.4667	14.1333
11	18.2667	18.1667	12.0333	9.9300
12	12.4333	12.0667	11.7333	6.9333
Mean	17.663861	16.730528	14.472194	13.149694
Std. Deviation	3.3199765	2.7913267	2.3888299	3.0631617

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์เนื้อซัสทรีเมื่อบ่มตัวภายใต้ชั้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูงที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	30.4000	30.8333	29.3667	27.9333
2	26.6000	30.6333	29.2667	28.6333
3	30.9000	28.9333	28.4000	28.6000
4	30.9333	28.9333	28.9333	25.0667
5	32.5667	29.9667	28.7667	24.9000
6	30.7000	33.1667	29.4333	28.4667
7	31.2330	31.9667	28.0667	26.5000
8	32.7000	28.3000	27.4000	22.4670
9	29.4333	32.4000	28.8667	24.4667
10	27.2333	29.8000	26.8667	20.3000
11	29.2667	25.8333	23.8000	19.4000
12	30.4000	26.8000	24.3667	21.2000
Mean	30.158306	29.797222	27.794444	24.827806
Std. Deviation	1.8465257	2.1963909	1.9040538	3.3477604

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์เนื้อซัสทรีเมื่อบ่มตัวภายใต้ชั้นงานเซรามิกไคพี  
เอสอีแมกซ์เพรสชนิดความทึบแสงสูงที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	30.8667	29.4333	26.1333	23.9333
2	30.1333	28.2000	26.5333	22.3000
3	29.4333	28.4333	28.0667	23.5000
4	29.8667	25.8667	26.2333	21.0667
5	29.7667	27.2667	26.6667	21.0667
6	33.9333	30.0333	28.5333	20.2667
7	31.4000	29.6000	27.1333	20.8333
8	29.0330	25.7670	21.8000	18.2670
9	31.5333	28.9667	26.2333	19.8667
10	26.4333	26.0000	24.4000	16.0333
11	23.9667	23.3000	21.4000	16.1333
12	27.4000	23.1000	23.0000	17.7333
Mean	29.480528	27.163917	25.511111	20.083361
Std. Deviation	2.6028575	2.3683110	2.3417309	2.6079116

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์เน็กซ์สทรีเมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานชรามิกเซอร์  
คอนกรีตที่มีความหนาต่างกัน

กลุ่ม	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
1	30.1667	30.0333	28.6333	22.5000
2	28.9333	29.8667	27.1667	25.2000
3	28.8667	28.4667	27.9000	25.4667
4	28.1333	27.8667	24.8667	22.9000
5	28.8000	26.8667	22.8667	21.7000
6	32.3000	29.0333	24.5000	20.3333
7	28.3667	26.3333	25.8667	22.3333
8	27.6000	26.6670	25.7000	22.8670
9	30.4667	27.6333	23.6667	22.3333
10	31.1667	26.6333	21.0000	19.0667
11	23.7000	20.4667	19.6333	16.8667
12	27.1000	25.4000	24.6333	20.2667
Mean	28.800000	27.105583	24.702778	21.819472
Std. Deviation	2.2051821	2.5347564	2.6631969	2.4257779

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptive Statistics

Cement	Ceramic	Thickness		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	
Variolink	control	.00	Hardness	12	21.638883	3.6874037	14.8333	26.4333	
		HT	.50	Hardness	12	19.391667	3.7739170	12.3667	23.2000
			1.00	Hardness	12	18.386111	3.3162123	12.2667	21.9000
			1.50	Hardness	12	17.163861	2.9929195	11.3333	21.2000
			2.00	Hardness	12	15.375000	2.1063696	10.6000	19.0000
	H0		.50	Hardness	12	19.808317	3.8717048	13.0000	24.4333
			1.00	Hardness	12	18.150000	3.4194482	11.4000	22.0333
			1.50	Hardness	12	16.338917	2.8495600	10.7667	21.2667
			2.00	Hardness	12	13.005583	2.1113901	8.6333	16.4000
	Cercon		.50	Hardness	12	17.663861	3.3199765	12.4333	21.4667
			1.00	Hardness	12	16.730528	2.7913267	12.0667	20.4000
			1.50	Hardness	12	14.472194	2.3888299	11.3333	17.9000
			2.00	Hardness	12	13.149694	3.0631617	6.9333	17.6667
	NX3	control	.00	Hardness	12	30.283333	1.8502252	27.5000	33.8333
			HT	.50	Hardness	12	30.158306	1.8465257	26.6000
				1.00	Hardness	12	29.797222	2.1963909	25.8333
			1.50	Hardness	12	27.794444	1.9040538	23.8000	29.4333
			2.00	Hardness	12	24.827806	3.3477604	19.4000	28.6333
H0			.50	Hardness	12	29.480528	2.6028575	23.9667	33.9333
			1.00	Hardness	12	27.163917	2.3683110	23.1000	30.0333
			1.50	Hardness	12	25.511111	2.3417309	21.4000	28.5333
			2.00	Hardness	12	20.083361	2.6079116	16.0333	23.9333
Cercon			.50	Hardness	12	28.800000	2.2051821	23.7000	32.3000
			1.00	Hardness	12	27.105583	2.5347564	20.4667	30.0333
			1.50	Hardness	12	24.702778	2.6631969	19.6333	28.6333
			2.00	Hardness	12	21.819472	2.4257779	16.8667	25.4667

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบว่าค่าความแข็งผิวในแต่ละกลุ่มว่ามีการแจกแจงแบบใด โดยใช้ One-Sample Kolmogorov-Smirnov

เรซินซีเมนต์	เซรามิก	ความหนา	Kolmogorov-Smirnov Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	
Variolink Veneer	control		.591	.876	
	IPS e.Max Press - HT	0.5	.678	.748	
		1.0	.763	.605	
		1.5	.541	.932	
		2.0	.643	.803	
	IPS e.Max Press - HO	0.5	.681	.743	
		1.0	.833	.492	
		1.5	.479	.976	
		2.0	.437	.991	
	Cercon	0.5	.566	.906	
		1.0	.896	.398	
		1.5	.827	.501	
		2.0	.442	.990	
	NX3	control		.497	.966
		IPS e.Max Press - HT	0.5	.512	.955
			1.0	.336	1.000
1.5			.774	.587	
2.0			.542	.930	
IPS e.Max Press - HO		0.5	.630	.823	
		1.0	.586	.882	
		1.5	.940	.340	
		2.0	.463	.983	
Cercon		0.5	.494	.968	
		1.0	.740	.644	
		1.5	.472	.979	
		2.0	.579	.891	

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์โดยใช้ สถิติแบบพหุคูณเมตริกซ์ ชนิดความแปรปรวนแบบ 3 ทาง เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ จำแนกตามผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ ชนิดของเซรามิก และความหนาของเซรามิก

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9801.946 <sup>a</sup>	25	392.078	50.762	.000
Intercept	134833.563	1	134833.563	17456.923	.000
Cement	6211.702	1	6211.702	804.230	.000
Ceramic	272.347	2	136.173	17.630	.000
Thickness	1548.477	3	516.159	66.827	.000
Cement * Ceramic	43.529	2	21.764	2.818	.061
Cement * Thickness	49.458	3	16.486	2.134	.096
Ceramic * Thickness	85.025	6	14.171	1.835	.092
Cement * Ceramic * Thickness	5.162	6	.860	.111	.995
Error	2209.003	286	7.724		
Total	161335.376	312			
Corrected Total	12010.949	311			

a. R Squared = .816 (Adjusted R Squared = .800)

จากตาราง พบว่า

- มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์อย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )
- มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวได้เซรามิกต่างชนิดกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )
- มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวได้เซรามิกที่มีความหนาต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม ( $p = 0.000$ )



- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์และชนิดของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.062$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์และความหนาของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.098$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของชนิดของเซรามิกและความหนาของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.093$ )
- ไม่มีอิทธิพลร่วมของผลิตภัณฑ์เรซินซีเมนต์ ชนิดของเซรามิก และความหนาของเซรามิกต่อค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ ( $p = 0.995$ )



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวระหว่างเรซินซีเมนต์ต่าง  
ผลิตภัณฑ์ เมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิก ชนิดและความหนาต่างกัน

1. เมื่อเรซินซีเมนต์ที่ได้รับแสงโดยตรง (กลุ่มควบคุม) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของ  
วาริโอลิงควีนีเยร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที

Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	21.638883	3.6874037	1.0644618
	NX3	12	30.283333	1.8502252	.5341140

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	8.379	.008	-7.258	22	.000	-8.6444500	1.1909478	-11.1143245	-6.1745755
	Equal variances not assumed			-7.258	16.209	.000	-8.6444500	1.1909478	-11.1665058	-6.1223942

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความโปร่งแสงสูง ความหนา 0.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์และเน็กซ์สทีร์ สถิติการทดสอบที่

Group Statistics

	Cement	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	19.391667	3.7739170	1.0894360
	NX3	12	30.158306	1.8465257	.5330460

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	8.235	.009	-8.877	22	.000	-10.7666389	1.2128515	-13.2819391	-8.2513387
	Equal variances not assumed			-8.877	15.981	.000	-10.7666389	1.2128515	-13.3380135	-8.1952643

3. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความโปร่งแสงสูง ความหนา 1.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์และเน็กซ์สทีร์ สถิติการทดสอบที่

Group Statistics

	Cement	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	18.386111	3.3162123	.9573080
	NX3	12	29.797222	2.1963909	.6340434

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	3.306	.083	-9.938	22	.000	-11.4111111	1.1482377	-13.7924103	-9.0298119
	Equal variances not assumed			-9.938	19.093	.000	-11.4111111	1.1482377	-13.8136057	-9.0086165

4. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความโปร่งแสงสูง ความหนา 1.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงคี่เนียร์และเน็กซ์สทีรี สถิติการทดสอบที่

Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	17.163861	2.9929195	.8639814
	NX3	12	27.794444	1.9040538	.5496530

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	3.095	.092	-10.381	22	.000	-10.6305833	1.0240031	-12.7542358	-8.5069309
	Equal variances not assumed			-10.381	18.651	.000	-10.6305833	1.0240031	-12.7765653	-8.4846013

5. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความโปร่งแสงสูง ความหนา 2.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงคี่เนียร์และเน็กซ์สทีรี สถิติการทดสอบที่

Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	15.375000	2.1063696	.6080565
	NX3	12	24.827806	3.3477604	.9664152

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	3.534	.073	-8.279	22	.000	-9.4528056	1.1417929	-11.8207391	-7.0848720
	Equal variances not assumed			-8.279	18.529	.000	-9.4528056	1.1417929	-11.8467210	-7.0588901

6. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความทึบแสงสูง ความหนา 0.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

**Group Statistics**

	Cement	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	19.808317	3.8717048	1.1176649
	NX3	12	29.480528	2.6028575	.7513802

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	4.339	.049	-7.182	22	.000	-9.6722111	1.3467543	-12.4652086	-6.8792137
	Equal variances not assumed			-7.182	19.257	.000	-9.6722111	1.3467543	-12.4884609	-6.8559613

7. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความทึบแสงสูง ความหนา 1.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีเยร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

**Group Statistics**

	Cement	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	18.150000	3.4194482	.9871097
	NX3	12	27.163917	2.3683110	.6836725

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	1.629	.215	-7.507	22	.000	-9.0139167	1.2007471	-11.5041137	-6.5237196
	Equal variances not assumed			-7.507	19.579	.000	-9.0139167	1.2007471	-11.5220870	-6.5057463

8. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไฮไฟเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความทึบแสงสูง ความหนา 1.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	16.338917	2.8495600	.8225971
	NX3	12	25.511111	2.3417309	.6759995

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	.267	.611	-8.615	22	.000	-9.1721944	1.0647259	-11.3803009	-6.9640880
	Equal variances not assumed			-8.615	21.204	.000	-9.1721944	1.0647259	-11.3851188	-6.9592701

9. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไฮไฟเอสอีแมกซ์เพรส ชนิดความทึบแสงสูง ความหนา 2.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีเนียร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	13.005583	2.1113901	.6095058
	NX3	12	20.083361	2.6079116	.7528392

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	.615	.441	-7.307	22	.000	-7.0777778	.9686404	-9.0866150	-5.0689405
	Equal variances not assumed			-7.307	21.087	.000	-7.0777778	.9686404	-9.0916718	-5.0638838



10. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกเซอร์คอน ความหนา 0.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีร์และเน็กซ์สทรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	17.663861	3.3199765	.9583947
	NX3	12	28.800000	2.2051821	.6365813

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	5.254	.032	-9.679	22	.000	-11.1361389	1.1505460	-13.522252	-8.7500526
	Equal variances not assumed			-9.679	19.125	.000	-11.1361389	1.1505460	-13.5431976	-8.7290802

11. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกเซอร์คอน ความหนา 1.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีร์และเน็กซ์สทรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	16.730528	2.7913267	.8057866
	NX3	12	27.105583	2.5347564	.7317212

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	1.301	.266	-9.532	22	.000	-10.3750556	1.0884429	-12.6323479	-8.1177632
	Equal variances not assumed			-9.532	21.799	.000	-10.3750556	1.0884429	-12.6335578	-8.1165534

12. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอน ความหนา 1.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	14.472194	2.3888299	.6895958
	NX3	12	24.702778	2.6631969	.7687987

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	.124	.728	-9.906	22	.000	-10.2305833	1.0327603	-12.3723971	-8.0887696
	Equal variances not assumed			-9.906	21.745	.000	-10.2305833	1.0327603	-12.3738545	-8.0873122

13. เมื่อเรซินซีเมนต์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอน ความหนา 2.0 มิลลิเมตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของวาริโอลิงควีนีร์และเน็กซ์สทีรี

สถิติการทดสอบที่

#### Group Statistics

Cement		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Hardness	Variolink	12	13.149694	3.0631617	.8842586
	NX3	12	21.819472	2.4257779	.7002618

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Hardness	Equal variances assumed	1.280	.270	-7.686	22	.000	-8.6697778	1.1279538	-11.0090108	-6.3305447
	Equal variances not assumed			-7.686	20.902	.000	-8.6697778	1.1279538	-11.0161533	-6.3234022

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกชนิดเดียวกัน ที่มีความหนาต่างกัน

1. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอดิงคิวเเนียร์บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกไอพีเอสอีแมกซ์เพรสชนิดความโปร่งแสงสูง

1.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	19.391667	3.7739170	1.0894360	16.993834	21.789499	12.3667	23.2000
1.00	12	18.386111	3.3162123	.9573080	16.279090	20.493132	12.2667	21.9000
1.50	12	17.163861	2.9929195	.8639814	15.262251	19.065471	11.3333	21.2000
2.00	12	15.375000	2.1063696	.6080565	14.036677	16.713323	10.6000	19.0000
Total	48	17.579160	3.3662295	.4858734	16.601709	18.556611	10.6000	23.2000

1.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.409	3	44	.080

1.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107.606	3	35.869	3.714	.018
Within Groups	424.975	44	9.659		
Total	532.581	47			

- 1.4) ตารางแสดงค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทวิ  
คีย์

### Multiple Comparisons

Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	1.0055556	1.2687605	.857	-2.382042	4.393153
	1.50	2.2278056	1.2687605	.308	-1.159792	5.615403
	2.00	4.0166667	1.2687605	.014	.629069	7.404264
1.00	.50	-1.0055556	1.2687605	.857	-4.393153	2.382042
	1.50	1.2222500	1.2687605	.771	-2.165348	4.609848
	2.00	3.0111111	1.2687605	.097	-.376486	6.398709
1.50	.50	-2.2278056	1.2687605	.308	-5.615403	1.159792
	1.00	-1.2222500	1.2687605	.771	-4.609848	2.165348
	2.00	1.7888611	1.2687605	.500	-1.598736	5.176459
2.00	.50	-4.0166667	1.2687605	.014	-7.404264	-.629069
	1.00	-3.0111111	1.2687605	.097	-6.398709	.376486
	1.50	-1.7888611	1.2687605	.500	-5.176459	1.598736

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Hardness

Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
2.00	12	15.375000	
1.50	12	17.163861	17.163861
1.00	12	18.386111	18.386111
.50	12		19.391667
Sig.		.097	.308

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

2. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควี่เนียร์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกไฮไฟเอสอีแมกซ์เพชรชนิดความ  
ทึบแสงสูง

2.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละ  
กลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	19.808317	3.8717048	1.1176649	17.348353	22.268281	13.0000	24.4333
1.00	12	18.150000	3.4194482	.9871097	15.977386	20.322614	11.4000	22.0333
1.50	12	16.338917	2.8495600	.8225971	14.528393	18.149441	10.7667	21.2667
2.00	12	13.005583	2.1113901	.6095058	11.664070	14.347097	8.6333	16.4000
Total	48	16.825704	3.9615917	.5718065	15.675378	17.976030	8.6333	24.4333

2.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.398	3	44	.081

2.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติ  
วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	305.760	3	101.920	10.384	.000
Within Groups	431.868	44	9.815		
Total	737.628	47			

2.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

**Multiple Comparisons**

Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	1.6583167	1.2790082	.570	-1.756642	5.073276
	1.50	3.4694000	1.2790082	.045	.054441	6.884359
	2.00	6.8027333	1.2790082	.000	3.387774	10.217692
1.00	.50	-1.6583167	1.2790082	.570	-5.073276	1.756642
	1.50	1.8110833	1.2790082	.496	-1.603876	5.226042
	2.00	5.1444167	1.2790082	.001	1.729458	8.559376
1.50	.50	-3.4694000	1.2790082	.045	-6.884359	-.054441
	1.00	-1.8110833	1.2790082	.496	-5.226042	1.603876
	2.00	3.3333333	1.2790082	.058	-.081626	6.748292
2.00	.50	-6.8027333	1.2790082	.000	-10.217692	-3.387774
	1.00	-5.1444167	1.2790082	.001	-8.559376	-1.729458
	1.50	-3.3333333	1.2790082	.058	-6.748292	.081626

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Hardness**

Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2.00	12	13.005583		
1.50	12	16.338917	16.338917	
1.00	12		18.150000	18.150000
.50	12			19.808317
Sig.		.058	.496	.570

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.



3. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควี่เนียร์บ่มตัวได้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอน

3.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	17.663861	3.3199765	.9583947	15.554449	19.773274	12.4333	21.4667
1.00	12	16.730528	2.7913267	.8057866	14.957003	18.504052	12.0667	20.4000
1.50	12	14.472194	2.3888299	.6895958	12.954404	15.989985	11.3333	17.9000
2.00	12	13.149694	3.0631617	.8842586	11.203454	15.095935	6.9333	17.6667
Total	48	15.504069	3.3461834	.4829800	14.532439	16.475700	6.9333	21.4667

3.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.666	3	44	.577

3.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	153.321	3	51.107	6.030	.002
Within Groups	372.935	44	8.476		
Total	526.256	47			

3.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

**Multiple Comparisons**

Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	.9333333	1.1885428	.861	-2.240083	4.106749
	1.50	3.1916667	1.1885428	.048	.018251	6.365083
	2.00	4.5141667	1.1885428	.002	1.340751	7.687583
1.00	.50	-.9333333	1.1885428	.861	-4.106749	2.240083
	1.50	2.2583333	1.1885428	.243	-.915083	5.431749
	2.00	3.5808333	1.1885428	.021	.407417	6.754249
1.50	.50	-3.1916667	1.1885428	.048	-6.365083	-.018251
	1.00	-2.2583333	1.1885428	.243	-5.431749	.915083
	2.00	1.3225000	1.1885428	.684	-1.850916	4.495916
2.00	.50	-4.5141667	1.1885428	.002	-7.687583	-1.340751
	1.00	-3.5808333	1.1885428	.021	-6.754249	-.407417
	1.50	-1.3225000	1.1885428	.684	-4.495916	1.850916

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Hardness**

Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2.00	12	13.149694		
1.50	12	14.472194	14.472194	
1.00	12		16.730528	16.730528
.50	12			17.663861
Sig.		.684	.243	.861

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

4. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อหยาบที่บีบตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไฮไฟเออร์สอีแมกซ์เพอร์ชนิดความโปร่งแสงสูง

4.1) ตารางแสดง ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

**Descriptives**

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	30.158306	1.8465257	.5330460	28.985079	31.331532	26.6000	32.7000
1.00	12	29.797222	2.1963909	.6340434	28.401702	31.192742	25.8333	33.1667
1.50	12	27.794444	1.9040538	.5496530	26.584666	29.004223	23.8000	29.4333
2.00	12	24.827806	3.3477604	.9664152	22.700740	26.954871	19.4000	28.6333
Total	48	28.144444	3.1577418	.4557808	27.227532	29.061357	19.4000	33.1667

4.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

**Test of Homogeneity of Variances**

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.447	3	44	.076

4.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

**ANOVA**

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	214.919	3	71.640	12.423	.000
Within Groups	253.734	44	5.767		
Total	468.653	47			

4.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

**Multiple Comparisons**

Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	.3610833	.9803637	.983	-2.256493	2.978660
	1.50	2.3638611	.9803637	.090	-.253715	4.981438
	2.00	5.3305000	.9803637	.000	2.712923	7.948077
1.00	.50	-.3610833	.9803637	.983	-2.978660	2.256493
	1.50	2.0027778	.9803637	.188	-.614799	4.620354
	2.00	4.9694167	.9803637	.000	2.351840	7.586993
1.50	.50	-2.3638611	.9803637	.090	-4.981438	.253715
	1.00	-2.0027778	.9803637	.188	-4.620354	.614799
	2.00	2.9666389	.9803637	.021	.349062	5.584215
2.00	.50	-5.3305000	.9803637	.000	-7.948077	-2.712923
	1.00	-4.9694167	.9803637	.000	-7.586993	-2.351840
	1.50	-2.9666389	.9803637	.021	-5.584215	-.349062

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Hardness**

Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
2.00	12	24.827806	
1.50	12		27.794444
1.00	12		29.797222
.50	12		30.158306
Sig.		1.000	.090

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

5. เมื่อเรซินซีเมนต์เน็กซ์สทรีปม้วนตัวได้ขึ้นงานเซรามิกไฮไฟเอสอีแมกซ์เพอร์ชนิดความทึบแสงสูง

5.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

**Descriptives**

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	29.480528	2.6028575	.7513802	27.826751	31.134305	23.9667	33.9333
1.00	12	27.163917	2.3683110	.6836725	25.659164	28.668670	23.1000	30.0333
1.50	12	25.511111	2.3417309	.6759995	24.023246	26.998976	21.4000	28.5333
2.00	12	20.083361	2.6079116	.7528392	18.426373	21.740349	16.0333	23.9333
Total	48	25.559729	4.2442050	.6125982	24.327340	26.792118	16.0333	33.9333

5.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

**Test of Homogeneity of Variances**

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.047	3	44	.986

5.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

**ANOVA**

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	575.269	3	191.756	31.093	.000
Within Groups	271.355	44	6.167		
Total	846.624	47			

## 5.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

**Multiple Comparisons**Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	2.3166111	1.0138349	.117	-.390334	5.023556
	1.50	3.9694167	1.0138349	.002	1.262472	6.676362
	2.00	9.3971667	1.0138349	.000	6.690222	12.104112
1.00	.50	-2.3166111	1.0138349	.117	-5.023556	.390334
	1.50	1.6528056	1.0138349	.373	-1.054139	4.359751
	2.00	7.0805556	1.0138349	.000	4.373611	9.787501
1.50	.50	-3.9694167	1.0138349	.002	-6.676362	-1.262472
	1.00	-1.6528056	1.0138349	.373	-4.359751	1.054139
	2.00	5.4277500	1.0138349	.000	2.720805	8.134695
2.00	.50	-9.3971667	1.0138349	.000	-12.104112	-6.690222
	1.00	-7.0805556	1.0138349	.000	-9.787501	-4.373611
	1.50	-5.4277500	1.0138349	.000	-8.134695	-2.720805

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Hardness**Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2.00	12	20.083361		
1.50	12		25.511111	
1.00	12		27.163917	27.163917
.50	12			29.480528
Sig.		1.000	.373	.117

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.



6. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อที่ผสมตัวได้ขึ้นงานเซรามิกเซอร์คอน

6.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละ  
กลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
.50	12	28.800000	2.2051821	.6365813	27.398894	30.201106	23.7000	32.3000
1.00	12	27.105583	2.5347564	.7317212	25.495076	28.716091	20.4667	30.0333
1.50	12	24.702778	2.6631969	.7687987	23.010663	26.394892	19.6333	28.6333
2.00	12	21.819472	2.4257779	.7002618	20.278206	23.360738	16.8667	25.4667
Total	48	25.606958	3.5674683	.5149197	24.571074	26.642843	16.8667	32.3000

6.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.173	3	44	.914

6.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติ  
วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	331.248	3	110.416	18.202	.000
Within Groups	266.913	44	6.066		
Total	598.161	47			

6.4) ตารางแสดงค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

### Multiple Comparisons

Hardness  
Tukey HSD

(I) Thickne ss	(J) Thickne ss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	1.6944167	1.0055023	.344	-.990280	4.379113
	1.50	4.0972222	1.0055023	.001	1.412526	6.781919
	2.00	6.9805278	1.0055023	.000	4.295831	9.665224
1.00	.50	-1.6944167	1.0055023	.344	-4.379113	.990280
	1.50	2.4028056	1.0055023	.094	-.281891	5.087502
	2.00	5.2861111	1.0055023	.000	2.601414	7.970808
1.50	.50	-4.0972222	1.0055023	.001	-6.781919	-1.412526
	1.00	-2.4028056	1.0055023	.094	-5.087502	.281891
	2.00	2.8833056	1.0055023	.031	.198609	5.568002
2.00	.50	-6.9805278	1.0055023	.000	-9.665224	-4.295831
	1.00	-5.2861111	1.0055023	.000	-7.970808	-2.601414
	1.50	-2.8833056	1.0055023	.031	-5.568002	-.198609

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Hardness

Tukey HSD<sup>a</sup>

Thickne ss	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2.00	12	21.819472		
1.50	12		24.702778	
1.00	12		27.105583	27.105583
.50	12			28.800000
Sig.		1.000	.094	.344

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิวของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ  
เมื่อบ่มตัวภายใต้ชิ้นงานเซรามิกต่างชนิด ที่มีความหนาเท่ากัน

1. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอดิงควิเนียร์บ่มตัวใต้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร
  - 1.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละ  
กลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	19.391667	3.7739170	1.0894360	16.993834	21.789499	12.3667	23.2000
H0	12	19.808317	3.8717048	1.1176649	17.348353	22.268281	13.0000	24.4333
Cercon	12	17.663861	3.3199765	.9583947	15.554449	19.773274	12.4333	21.4667
Total	36	18.954615	3.6794142	.6132357	17.709680	20.199549	12.3667	24.4333

- 1.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.216	2	33	.807

- 1.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติ  
วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31.030	2	15.515	1.156	.327
Within Groups	442.803	33	13.418		
Total	473.833	35			

2. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโกลิงควีเนียร์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร

2.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	18.386111	3.3162123	.9573080	16.279090	20.493132	12.2667	21.9000
H0	12	18.150000	3.4194482	.9871097	15.977386	20.322614	11.4000	22.0333
Cercon	12	16.730528	2.7913267	.8057866	14.957003	18.504052	12.0667	20.4000
Total	36	17.755546	3.1827292	.5304549	16.678666	18.832427	11.4000	22.0333

2.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.205	2	33	.816

2.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	19.246	2	9.623	.947	.398
Within Groups	335.295	33	10.160		
Total	354.542	35			

3. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีเนียร์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร

3.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	17.163861	2.9929195	.8639814	15.262251	19.065471	11.3333	21.2000
H0	12	16.338917	2.8495600	.8225971	14.528393	18.149441	10.7667	21.2667
Cercon	12	14.472194	2.3888299	.6895958	12.954404	15.989985	11.3333	17.9000
Total	36	15.991657	2.9094219	.4849037	15.007251	16.976064	10.7667	21.2667

3.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.131	2	33	.878

3.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45.641	2	22.821	3.005	.063
Within Groups	250.625	33	7.595		
Total	296.266	35			

4. เมื่อเรซินซีเมนต์วาริโอลิงควีนีเยร์บ่มตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตร

4.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	15.375000	2.1063696	.6080565	14.036677	16.713323	10.6000	19.0000
HO	12	13.005583	2.1113901	.6095058	11.664070	14.347097	8.6333	16.4000
Cercon	12	13.149694	3.0631617	.8842586	11.203454	15.095935	6.9333	17.6667
Total	36	13.843426	2.6371114	.4395186	12.951156	14.735696	6.9333	19.0000

4.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.891	2	33	.167

4.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.348	2	21.174	3.475	.043
Within Groups	201.055	33	6.093		
Total	243.402	35			



4.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบพหุคีย์

**Multiple Comparisons**

Hardness  
Tukey HSD

(I) Ceramic	(J) Ceramic	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HT	H0	2.3694167	1.0076849	.063	-.103235	4.842068
	Cercon	2.2253056	1.0076849	.085	-.247346	4.697957
H0	HT	-2.3694167	1.0076849	.063	-4.842068	.103235
	Cercon	-.1441111	1.0076849	.989	-2.616763	2.328541
Cercon	HT	-2.2253056	1.0076849	.085	-4.697957	.247346
	H0	.1441111	1.0076849	.989	-2.328541	2.616763

**Hardness**

Tukey HSD<sup>a</sup>

Ceramic	N	Subset for alpha = 0.05
		1
H0	12	13.005583
Cercon	12	13.149694
HT	12	15.375000
Sig.		.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

4.5) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบแอลเอสดี (LSD)

**Multiple Comparisons**

Hardness  
LSD

(I) Ceramic	(J) Ceramic	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HT	H0	2.3694167	1.0076849	.025	.319266	4.419567
	Cercon	2.2253056	1.0076849	.034	.175155	4.275456
H0	HT	-2.3694167	1.0076849	.025	-4.419567	-.319266
	Cercon	-.1441111	1.0076849	.887	-2.194262	1.906039
Cercon	HT	-2.2253056	1.0076849	.034	-4.275456	-.175155
	H0	.1441111	1.0076849	.887	-1.906039	2.194262

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

5. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อกึ่งสทรีปมตัวได้ขึ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร

5.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	30.158306	1.8465257	.5330460	28.985079	31.331532	26.6000	32.7000
H0	12	29.480528	2.6028575	.7513802	27.826751	31.134305	23.9667	33.9333
Cercon	12	28.800000	2.2051821	.6365813	27.398894	30.201106	23.7000	32.3000
Total	36	29.479611	2.2462086	.3743681	28.719603	30.239619	23.7000	33.9333

5.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.316	2	33	.731

5.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.070	2	5.535	1.104	.344
Within Groups	165.521	33	5.016		
Total	176.591	35			

6. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อกึ่งสทรีปมตัวได้ชิ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร

6.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	29.797222	2.1963909	.6340434	28.401702	31.192742	25.8333	33.1667
H0	12	27.163917	2.3683110	.6836725	25.659164	28.668670	23.1000	30.0333
Cercon	12	27.105583	2.5347564	.7317212	25.495076	28.716091	20.4667	30.0333
Total	36	28.022241	2.6304193	.4384032	27.132235	28.912247	20.4667	33.1667

6.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.129	2	33	.880

6.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	56.730	2	28.365	5.048	.012
Within Groups	185.438	33	5.619		
Total	242.169	35			

6.4) ตารางแสดงค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ แบบทูกีย์

#### Multiple Comparisons

Hardness  
Tukey HSD

(I) Ceramic	(J) Ceramic	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HT	H0	2.6333056	.9677586	.027	.258625	5.007986
	Cercon	2.6916389	.9677586	.024	.316958	5.066320
H0	HT	-2.6333056	.9677586	.027	-5.007986	-.258625
	Cercon	.0583333	.9677586	.998	-2.316347	2.433014
Cercon	HT	-2.6916389	.9677586	.024	-5.066320	-.316958
	H0	-.0583333	.9677586	.998	-2.433014	2.316347

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

#### Hardness

Tukey HSD<sup>a</sup>

Ceramic	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Cercon	12	27.105583	
H0	12	27.163917	
HT	12		29.797222
Sig.		.998	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อที่ผสมตัวได้ขึ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร

7.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	27.794444	1.9040538	.5496530	26.584666	29.004223	23.8000	29.4333
H0	12	25.511111	2.3417309	.6759995	24.023246	26.998976	21.4000	28.5333
Cercon	12	24.702778	2.6631969	.7687987	23.010663	26.394892	19.6333	28.6333
Total	36	26.002778	2.6181828	.4363638	25.116912	26.888643	19.6333	29.4333

7.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.522	2	33	.598

7.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	61.702	2	30.851	5.713	.007
Within Groups	178.219	33	5.401		
Total	239.921	35			

## 7.4) ค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทู่คีย์

**Multiple Comparisons**Hardness  
Tukey HSD

(I) Ceramic	(J) Ceramic	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HT	H0	2.2833333	.9487343	.055	-.044666	4.611332
	Cercon	3.0916667	.9487343	.007	.763668	5.419666
H0	HT	-2.2833333	.9487343	.055	-4.611332	.044666
	Cercon	.8083333	.9487343	.674	-1.519666	3.136332
Cercon	HT	-3.0916667	.9487343	.007	-5.419666	-.763668
	H0	-.8083333	.9487343	.674	-3.136332	1.519666

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**Hardness**Tukey HSD<sup>a</sup>

Ceramic	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Cercon	12	24.702778	
H0	12	25.511111	25.511111
HT	12		27.794444
Sig.		.674	.055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



8. เมื่อเรซินซีเมนต์เนื้อกึ่งสทรีปมตัวได้ขึ้นงานเซรามิกที่มีความหนา 2.0 มิลลิเมตร

8.1) ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งผิว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละกลุ่มการทดลอง

#### Descriptives

Hardness

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HT	12	24.827806	3.3477604	.9664152	22.700740	26.954871	19.4000	28.6333
H0	12	20.083361	2.6079116	.7528392	18.426373	21.740349	16.0333	23.9333
Cercon	12	21.819472	2.4257779	.7002618	20.278206	23.360738	16.8667	25.4667
Total	36	22.243546	3.3853455	.5642242	21.098110	23.388982	16.0333	28.6333

8.2) การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มด้วยค่าสถิติ Levene's

#### Test of Homogeneity of Variances

Hardness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.035	2	33	.366

8.3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแตกต่างกันด้วยค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

#### ANOVA

Hardness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	138.296	2	69.148	8.682	.001
Within Groups	262.824	33	7.964		
Total	401.120	35			

8.4) ตารางแสดงค่าสถิติสำหรับทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณแบบทวิ  
คีย์

### Multiple Comparisons

Hardness  
Tukey HSD

(I) Ceramic	(J) Ceramic	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
HT	H0	4.7444444	1.1521261	.001	1.917364	7.571525
	Cercon	3.0083333	1.1521261	.035	.181253	5.835414
H0	HT	-4.7444444	1.1521261	.001	-7.571525	-1.917364
	Cercon	-1.7361111	1.1521261	.301	-4.563192	1.090970
Cercon	HT	-3.0083333	1.1521261	.035	-5.835414	-.181253
	H0	1.7361111	1.1521261	.301	-1.090970	4.563192

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Hardness

Tukey HSD<sup>a</sup>

Ceramic	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
H0	12	20.083361	
Cercon	12	21.819472	
HT	12		24.827806
Sig.		.301	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวพิมพ์มาดา เกษรัักษ์

วัน เดือน ปี เกิด 12 มิถุนายน 2524

วุฒิการศึกษา ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีสำเร็จการศึกษา 2548

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2548

ตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย