



ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของ วัสดุอลูเซรามิกสองชนิดที่ความหนาของ โครงสร้างชั้นต่าง ๆ กัน

ปวีริศา ธรรมวานิช ทบ.¹

ปรารมภ์ ชาลิมิ ทบ., Ph.D.²

แมนสรวง อักษรนุกิจ ทบ., MSc., Ph.D.²

¹นิสิตปริญญาโท

²ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุอินซีแรมและวัสดุไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่มีอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน โดยวิธีทดสอบหาความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

วัสดุและวิธีการ ทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบเซรามิกอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตชนิดละ 50 ชิ้น แต่ละชนิดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ตามอัตราความหนาของส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ 1:0 2:1 1:1 1:2 และ 0:1 ตามลำดับ นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบหาความแข็งแรงดัดขวางสองแกนตามมาตรฐาน ISO 6872 ปี ค.ศ. 1995 โดยใช้เครื่องทดสอบสากลด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตร/นาที

ผลการศึกษา ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอินซีแรมตามอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์จากมากไปน้อยของอินซีแรม กลุ่มที่ 1 - 5 มีค่า 433.1 ± 68.4 , 338.9 ± 22.6 , 294.4 ± 15.2 , 259.9 ± 14.5 และ 56.6 ± 10.5 เมกะปาสกาล ตามลำดับ สำหรับกลุ่มของวัสดุไอพีเอสเอ็มเพรส 2 กลุ่มที่ 6-10 มีค่า 288.3 ± 44.6 , 246.3 ± 28.2 , 266.73 ± 23.22 , 226.6 ± 26.4 และ 68.6 ± 5.5 เมกะปาสกาล ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการทดสอบแบบแทมเฮน พบว่าอินซีแรมทั้งชิ้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงกว่าแบบที่เคลือบวีเนียร์ โดยเมื่อความหนาของชั้นคอร์ลดลง ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนจะลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) ส่วนไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ทั้งชิ้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างจากไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่เคลือบวีเนียร์อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยแม้ว่าความหนาของชั้นคอร์ลดลงโดยที่ยังคงมีส่วนคอร์อยู่ ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนจะไม่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > .05$)

สรุป อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรม แต่ไม่มีผลต่อไอพีเอสเอ็มเพรส 2

(ว.ทันต.จุฬาฯ 2550;30:141-56)

คำสำคัญ: ความแข็งแรงดัดขวางสองแกน; คอร์; วีเนียร์พอร์ซเลน; ออลเซรามิก; อินซีแรม; ไอพีเอสเอ็มเพรส 2

บทนำ

วัสดุออลเซรามิก (all-ceramic material) ได้รับความนิยมมากขึ้นและสามารถนำมาใช้ในทางคลินิกโดยมีผลประสบความสำเร็จที่ดีในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ต้องการความสวยงาม เช่น ฟันหน้า เนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสง เช่น การดูดซับ การกระจาย และการส่องผ่านของแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากกว่าการใช้เซรามิกร่วมกับโลหะ¹ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดี (biocompatibility) และยังช่วยขจัดปัญหาเกี่ยวกับการแพ้โลหะในผู้ป่วยบางราย^{2,3} ปัจจุบันวัสดุออลเซรามิกชนิดใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยมีผลความสำเร็จทางคลินิกที่สูงขึ้นด้วยเหตุผลใหญ่ ๆ 3 ประการคือ ตัววัสดุที่ได้รับการพัฒนาให้มีความแข็งแรงขึ้น มีวิธีการขึ้นรูปที่ดีขึ้น และการพัฒนาทางด้านการยึดติดโดยสามารถใช้กรดกัด (acid etch) บนผิวเซรามิกและเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน และยึดเข้ากันได้ด้วยกาวยึดเนื้อฟันชนิดใหม่ ๆ

วัสดุออลเซรามิกที่ใช้ในทางทันตกรรมมีหลายชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดโครงสร้างทางเคมีของวัสดุ ขบวนการขึ้นรูป ฯลฯ และได้มีการพัฒนาขึ้นจากหลายบริษัทผู้ผลิตด้วยเทคนิคต่าง ๆ กัน Rosenblum และ Schulman⁴ ได้ทำการจำแนกชนิดตามวิธีการขึ้นรูปของออลเซรามิกไว้ 5 ชนิด คือ เซรามิกชนิดสัณนิย (conventional powder slurry ceramic) เป็นการเติมน้ำลงในผงเซรามิกเพื่อขึ้นรูปเป็นชั้นของเนื้อฟันและเคลือบฟันบนแบบหล่อ ส่วนผงจะมีหลายสีและหลายระดับความโปร่งแสง ตัวอย่างได้แก่ ดิวซีแรม แอลเอพีซี (Duceram LFC) เซรามิกชนิดเหนียว (castable ceramic systems) สามารถขึ้นรูปโดยใช้วิธีแทนที่ขี้ผึ้ง (lost wax) ในเครื่องเหนียวหินศูนย์กลาง ตัวอย่างได้แก่ ไดคอร์ (Dicor) เซรามิกชนิดแทรกซึม (Infiltrated ceramic) เป็นอะลูมินาสปอร์ชเลนที่เพิ่มปริมาณของอะลูมินาในส่วนแกนให้สูงขึ้นและแทรกซึมด้วยวัสดุแก้ว (glass matrix phase) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของครอบฟัน ตัวอย่างได้แก่ อินซีแรม (In-Ceram) เซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยการกดอัด (pressable ceramic) เป็นเซรามิกที่ผ่านขบวนการแทนที่ขี้ผึ้งโดยเผาและอัดภายใต้ความร้อน (heat-pressing) ตัวอย่างได้แก่ ไอพีเอสเอมเพรส (IPS Empress) และไอพีเอสเอมเพรส 2 (IPS Empress 2) เซรามิกชนิดใช้เครื่องมือกลึงตัด

(ceramic machining systems) เป็นการใช้ระบบ CAD-CAM ตัวอย่างได้แก่ ซีเรค (CEREC) โพรเซรา (ProCera) ซึ่งรวมถึงเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย เช่น เซอร์คอน (Circon) เป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุออลเซรามิกที่ใช้ในประเทศไทยและสามารถขึ้นรูปได้เองในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ อินซีแรม และ ไอพีเอสเอมเพรส 2 ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำครอบฟันหรือขึ้นบูรณะในซี่เดี่ยวทุกตำแหน่งในปาก หรือสะพานฟันสามซี่ ในตำแหน่งฟันหน้าที่ไม่รับแรงบดเคี้ยวมาก

อินซีแรม (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1982 โดย Michael Sadaun ในประเทศฝรั่งเศส เซรามิกชนิดนี้มีชื่อในภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันออกไป เช่น infiltration ceramic หรือ glass infused ceramic หรือ glass infiltrated alumina ceramic นอกจากนี้ยังอาจเรียกตามเทคนิคการขึ้นรูปว่า slip casting alumina ceramic อินซีแรมประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดแทรกประสานกัน (interpenetrating phase material) โดยมีวัสดุผลึกอะลูมินาล้อมรอบและแทรกซึมด้วยวัสดุแก้วบริเวณรูพรุนทำให้เพิ่มความแข็งแรงขึ้น อินซีแรมที่เผาแล้วมีปริมาณผลึกอะลูมินาร้อยละ 74 โดยปริมาตร หรือร้อยละ 80-85 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดของผลึกตั้งแต่ 0.5-5 ไมครอน และแมทริกซ์แก้วแลนทานัม (lanthanum aluminosilicate) ร้อยละ 26⁵

การขึ้นรูปอินซีแรมส่วนแกนหรือคอร์ (core) ทำโดยนำผงอะลูมินาละลายในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) และใส่สารทำให้กระจายตัว (dispersing agent) คือโพลีวินิลแอลกอฮอล์ ทาลงบนแม่แบบยิปซัม ส่วนน้ำจะถูกดูดเข้าสู่แม่แบบจึงเหลือเฉพาะอะลูมินาอัดแน่นอยู่⁶ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ระหว่างนี้อะลูมินาจะหลอมเข้าด้วยกันและเกิดการหดตัวร้อยละ 0.3 ซึ่งให้ความเสถียรภาพและต้านทานต่อการบิดเบี้ยว ในระหว่างการเผาวิเนียร์พอร์ชเลนในกระบวนการต่อไปได้ จากนั้นผสมส่วนแก้วแลนทานัมกับน้ำทาลงบนส่วนแกนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง ส่วนแก้วจะหลอมตัวและแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างอะลูมินาโดยกระบวนการแคปิลลารีซึ่งช่วยให้เกิดความโปร่งแสง จากนั้นกำจัดแก้วส่วนเกินด้วยหัวกรอกากเพชรหรือผงอะลูมินาเนี่ยมออกไซด์ ขั้นตอนสุดท้ายคือการตกแต่งรูปร่างของ

ซึ่งงานด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนชนิดอะลูมินัสปอร์ซเลน⁶⁻⁸ อินซีแรมสามารถใช้ในการครอบฟันหน้าและฟันหลังรวมทั้งสะพานฟันหน้า ซึ่งมีรายงานค่ากำลังดัดขวางสูงประมาณ 384 เมกะปาสกาล⁹ มีค่าแรงดึงที่สูงกว่าเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน 3-4 เท่า¹⁰⁻¹² มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $7.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ นอกจากนี้มีอัตราอายุรอดทางคลินิกร้อยละ 98.4 จากการใช้งานในช่วง 24-44 เดือน¹³ อย่างไรก็ตาม อินซีแรมมีข้อด้อยที่สำคัญคือ ส่วนแกนมีความทึบแสงจากอะลูมินา ทำให้ครอบฟันแลดูไม่เป็นธรรมชาติ จึงได้มีการพัฒนาส่วนแกนให้มีความโปร่งแสงขึ้น โดยใช้แมกนีเซียมอะลูมินา (MgAl_2O_4) เรียกว่า อินซีแรมสปิเนล (In-Ceram Spinel) แต่มีค่ากำลังดัดขวางนั้นไม่สูงเท่ากับอินซีแรม โดยมีค่าประมาณ 259 เมกะปาสกาล⁹ ต่อมาได้มีการพัฒนาอินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Zirconia) ซึ่งใช้เซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) เป็นส่วนแกนภายใน พบว่ามีค่ากำลังดัดขวางสูงถึง 800 เมกะปาสกาล แต่ก็มีค่าโปร่งแสงน้อยกว่าสองชนิดที่ผ่านมาโดยอินซีแรมเซอร์โคเนียใช้ในงานสะพานฟันในฟันหลัง⁶

วิตาดัวร์อัลฟา (vitadur alpha) เป็นวีเนียร์พอร์ซเลนของอินซีแรมที่ใช้ในการตกแต่งรูปร่างของชิ้นงานในชั้นเนื้อฟันและชั้นเคลือบฟัน ส่วนประกอบของวิตาดัวร์อัลฟามีอะลูมินัสปอร์ซเลนร้อยละ 10 มีความแข็งแรงดัดขวาง 110 เมกะปาสกาล มีลักษณะเป็นอนุภาคละเอียด มีการดูดแสง ความโปร่งแสงและการสะท้อนแสงคล้ายฟันธรรมชาติ ทนต่อการสะสมของคราบจุลินทรีย์ทนต่อการกัด มีการหดตัวน้อยขณะเผา มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $6.2-6.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ค่าความแข็งผิววิกเกอร์ 470 HV₁₀ ความหนาแน่น 2.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร⁶

ไอพีเอสเอมเพรส 2 (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein)

ระบบไอพีเอสเอมเพรส ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1988 โดย Wohlwend และ Scharer แห่งมหาวิทยาลัยซูริค ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ร่วมกับบริษัท Ivoclar ประเทศลิกเตนสไตน์¹⁴ โดยมีส่วนประกอบพื้นฐานของเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนที่มีผลึกสูงเป็นองค์ประกอบ ผลึกนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยกลไกที่เกิดจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนระหว่างลูไซต์กับแก้วแมทริกซ์ โดยลูไซต์ที่มีค่านี้สูงกว่าแก้วแมทริกซ์ ทำให้เกิดความเค้นอัดรอบผลึกซึ่งช่วย

ต้านต่อการร้าวของรอยร้าว¹⁵ นอกจากนี้กระบวนการอัดด้วยความร้อนจะทำให้ผลึกลูไซต์เรียงตัวและการกระจายตัวของสม่าเสมอในแก้วแมทริกซ์ซึ่งมีผลช่วยต้านการแตกได้^{11,14,16} ในการขึ้นรูปวัสดุบูรณะฟันโดยใช้ระบบของไอพีเอสเอมเพรสมี 2 แบบ ได้แก่ เทคนิคระบายสี (staining technique) คือหลังจากได้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดแล้วนำชิ้นงานมาลงสีบนพื้นผิวตามต้องการ เทคนิคนี้ใช้ในงานอินเลย์ ออนเลย์ และวีเนียร์ อีกวิธีหนึ่งคือเทคนิคทำเป็นชั้น (layering technique) จะใช้ในงานที่ต้องการความสวยงาม เช่น ครอบฟันหน้า ซึ่งเมื่อได้ชิ้นงานที่เป็นส่วนแกนแล้ว จะนำมาขึ้นรูปเพิ่มเติมด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนเป็นชั้นเนื้อฟันและเคลือบฟันให้เหมือนฟันธรรมชาติเพื่อให้มีความใสและสีตามต้องการ ไอพีเอสเอมเพรสมีค่าความแข็งแรงดัดขวาง 120-200 เมกะปาสกาล ซึ่งมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะสามารถใส่ทำสะพานฟันได้

ในปี ค.ศ. 1999 Schweiger Holand และ Frank¹⁷ ได้พัฒนาวัสดุไอพีเอสเอมเพรส 2 ซึ่งใช้วิธีเผาแทนที่ซึ่งฝั่งและกระบวนการอัดภายใต้ความร้อนเช่นเดียวกัน แต่ใช้ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) ซึ่งมีความแข็งแรงกว่า โดยโครงสร้างประกอบด้วยของผลึกมากกว่าร้อยละ 60 ขบวนการเผาและอัดภายใต้ความร้อน ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตรูปเพิ่มจะแพร่กระจายในโครงสร้างที่ประสานกันทำให้สามารถป้องกันการลุกลามของรอยแตกได้ดีโดยขบวนการหักเหของรอยแตก (crack deflection) และการแตกแขนงของรอยแตก (branching) ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนประมาณ 350 เมกะปาสกาล ซึ่งสูงกว่าไอพีเอสเอมเพรสประมาณ 3 เท่า มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าไอพีเอสเอมเพรส เนื่องจากผลึกลิเทียมไดซิลิเกตมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่าผลึกลูไซต์

ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีอัตราการสึกกร่อนใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ การต้านทานต่อความชื้น การกัดกร่อน และทนต่อการเสียมได้ดีกว่า สามารถยึดกับฟันธรรมชาติได้ดี โดยการกัดพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และทาสารไซเลนปรับสภาพผิว ซึ่งทำให้เกิดกำลังยึด (bond strength) ด้วยเรซินซีเมนต์มากกว่าการยึดกับเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียหรืออะลูมินา¹⁸ เนื่องจากปัญหาของวีเนียร์ พอร์ซเลนชนิดดั้งเดิมเกิดการแตกง่ายเพราะช่วงอุณหภูมิการเผาแคบ บริษัทผู้ผลิต

จึงได้ทำการผลิตวีเนียร์พอร์ซเลนชนิดใหม่คือไอพีเอสอีริส (IPS Eris) ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในการเผาขึ้น ทำให้กระบวนการหลอมมีความผิดพลาดน้อยกว่าเดิม วีเนียร์พอร์ซเลนที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่เป็นชนิดฟลูออโรอะพาไทต์ ซึ่งมีลักษณะผลึกคล้ายกับในฟันธรรมชาติและทำให้คุณสมบัติการกระจายแสงใกล้เคียงกัน

ไอพีเอสเอมเพรส 2 สามารถใช้ทำครอบฟันที่เดียวทุกตำแหน่งและสะพานฟันสามซี่ในตำแหน่งฟันหน้าจนถึงฟันกรามน้อยที่สองได้ ด้วยความแข็งแรงที่จำกัด การทำสะพานฟันสามซี่จะต้องมีส่วนเชื่อมต่อโยง (connector) ขนาด 4 x 4 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถใช้ในสะพานฟันที่มีฟันหลักเดี่ยวซึ่งไม่มีความสูงพอที่จะทำส่วนเชื่อมต่อโยงให้แข็งแรงได้ หรือไม่ควรใช้ในการใส่ฟันที่มีช่วงระหว่างฟันกว้าง คือมากกว่า 11 มิลลิเมตร ในฟันหน้า และมากกว่า 9 มิลลิเมตรในฟันเขี้ยว และมีข้อห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีการทำงานนอกหน้าที่ (parafuction) เช่น นอนกัดฟัน ขบแน่นฟัน ฟันหลักเปลี่ยนสีมาก นอกจากนี้ฟันที่บิดเอียงตำแหน่งมาก ๆ ฟันปลอมติดแน่นชนิดยึดข้างเดียว (cantilever) และฟันโยกมาก ๆ ก็เป็นข้อห้ามด้วย

Wagner และ Chu¹⁹ ได้ทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุไอพีเอสเอมเพรส อินซีแรม และโพรเซราอลซีแรม (Procera allceram) พบว่าความแข็งแรงดัดขวางของทั้งสามวัสดุมีความแตกต่างกัน โดยโพรเซราอลซีแรมมีค่าสูงสุด รองลงมาคืออินซีแรมและไอพีเอสเอมเพรส (687, 352 และ 134 เมกะปาสกาล ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Oden Rowcliffe และ Zeng²⁰ ซึ่งพบว่าความแข็งแรงดัดขวางของโพรเซราอลซีแรมสูงกว่าอินซีแรม ส่วน Wen และคณะ³ ทำการศึกษาลักษณะเดียวกัน แต่พบว่าอินซีแรมและโพรเซราอลซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าไอพีเอสเอมเพรส (433±9, 472±107 และ 155±24 เมกะปาสกาล ตามลำดับ) Arbakry Guazzato และ Swain²¹ ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางของไอพีเอสเอมเพรส และไอพีเอสเอมเพรส 2 พบว่าไอพีเอสเอมเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางมากกว่าไอพีเอสเอมเพรส (440±55 และ 407±45 เมกะปาสกาล ตามลำดับ)

ในการทำครอบฟันหรือสะพานฟันสำหรับวัสดุอลเซรามิก จะต้องมีส่วนของคอร์และวีเนียร์ พอร์ซเลนด้วยเพื่อความสวยงาม ในการกรอฟันจะต้องกรอออกในแนวแกนฟัน โดยรอบประมาณ 1.0-1.2 มิลลิเมตร เพื่อความแข็งแรงของชั้นครอบฟันและต้องคำนึงถึงเนื้อเยื่อในด้วย ด้วยปริมาณความหนาที่จำกัดนี้ ทางบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดความหนาอย่างต่ำของชั้นคอร์ต้องไม่น้อยกว่า 0.8 มิลลิเมตรเพื่อความแข็งแรงของวัสดุบูรณะทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ในการกรอฟันเพื่อเตรียมครอบฟันนั้นบางบริเวณอาจมีความหนาโดยรวมที่มากหรือน้อยกว่าที่กำหนด ทำให้อัตราส่วนของชั้นคอร์กับวีเนียร์พอร์ซเลนของเซรามิกมีความแตกต่างกัน ความแข็งแรงของวัสดุโดยรวมจึงต้องคำนึงถึงการใช้งานร่วมกันของส่วนคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนด้วย Zeng Oden และ Rowcliffe²² ได้ทำการศึกษาความแข็งแรงดัดขวางของโพรเซรา อินซีแรมร่วมกับวีเนียร์พอร์ซเลนสามชนิด คือโพรเซราอลซีแรม วิตาดีวีเอ็น (Vitadur N) และ วิตาดีวีอัลฟาที่ความหนาต่าง ๆ กัน พบว่าความล้มเหลวของโพรเซราสูงกว่าอินซีแรมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่วีเนียร์พอร์ซเลนทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกัน Ohyama Yoshinari และ Oda²³ ทดสอบความแข็งแรงดัดขวางของอินซีแรมและไอพีเอสเอมเพรสโดยทำขึ้นตัวอย่างเป็นแบบต่าง ๆ พบว่าอินซีแรมคอร์มีความแข็งแรงดัดขวางสูงสุด อินซีแรมที่เป็นชั้นเดียวจะมีความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่าแบบสองชั้น แต่ไอพีเอสเอมเพรสทั้งชั้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางใกล้เคียงกับของไอพีเอสเอมเพรสที่รวมกับพอร์ซเลน Thompson²⁴ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความสัมพันธ์ความหนาของชั้นพอร์ซเลนต่อจุดเริ่มต้นการแตก (failure origin) และชนิดของการแตก (failure mode) โดยทำชั้นทดสอบเป็นแผ่นสองชั้นจากอินซีแรมและวิตาดีวีอัลฟา ด้วยความหนาที่แตกต่างกันเป็น 1:2 1:1 และ 2:1 เมื่อทำการวัดความแข็งแรงดัดขวางของทั้งสามแบบพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการเริ่มแตกที่ผิวและการเริ่มแตกระหว่างชั้นบริเวณรอยต่อ (interface) โดยการเริ่มแตกที่ผิวจะพบมากในความหนา 1:2 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ และการเริ่มแตก ระหว่างชั้นจะพบมากในอัตราส่วน 2:1 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ สำหรับชนิดของการแตก พบผลในทางตรงกันข้าม

คือ มีการแตกแยกชิ้นมากที่สุดในอัตราส่วน 1:2 รองลงมาคือ 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ

แม้จะมีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของของคอร์ต่อวีเนียร์ต่อความแข็งแรงของเซรามิกบางชนิดมาแล้วก็ตาม ความแข็งแรงของชิ้นเซรามิกเมื่อได้รับการเคลือบด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของส่วนคอร์หรือไม่นั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัด ความแข็งแรงของเซรามิกนั้นอาจยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ของวัสดุที่ต้องนำมาใช้ร่วมกันด้วย ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาถึงอัตราส่วนความหนาของคอร์ต่อวีเนียร์พอร์ซเลนของวัสดุออลเซรามิกทั้งสองชนิดคืออินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 โดยใช้วิธีการวัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural strength; BFS) ในชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนความหนาของส่วนคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนที่แตกต่างกัน

วัสดุและวิธีการ

ทำการขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างเซรามิกทั้งสองชนิดคือ อินซีแรมชนิดอะลูมินาที่ใช้ร่วมกับวิตาดัวร์อัลฟา และไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่ใช้ร่วมกับไอพีเอสอีริส โดยแบ่งกลุ่มการทดลองในแต่ละชนิดออกเป็น 5 กลุ่มตามอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

วิธีขึ้นรูปชิ้นงาน

ขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกที่ทำจากวัสดุอินซีแรมร่วมกับวิตาดัวร์อัลฟา และวัสดุไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ร่วมกับไอพีเอสอีริส ให้มีลักษณะตามมาตรฐาน ISO 6872²⁴ มีรูปร่างเป็นแผ่นกลม (disc) เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มิลลิเมตร และหนา 1.2 ± 0.005 มิลลิเมตร

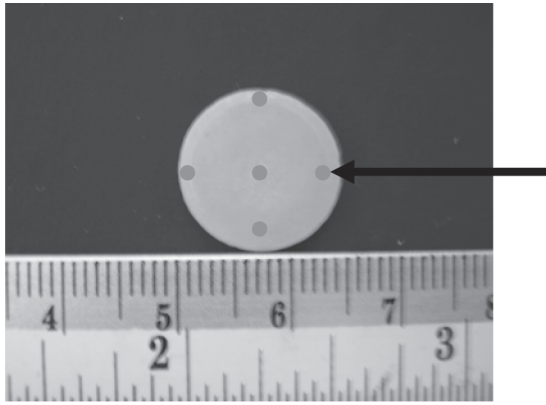
การเตรียมชิ้นงานอินซีแรม

การเตรียมส่วนคอร์ ทำการเตรียมส่วนผสมสลิปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้นผสมพลาสติกพิเศษ (special plaster) เพื่อใช้เป็นฐานของการขึ้นรูป ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว และสูง 1 นิ้ว รอให้แข็งตัว วางแผ่นเหล็กแม่แบบสำหรับขึ้นรูปแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และหนา 1.4 มิลลิเมตร บนฐานพลาสติกที่เตรียมไว้ เทส่วนผสมสลิปลงในแผ่นเหล็กแม่แบบให้หนากว่าขนาดที่ต้องการเล็กน้อย ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 40 นาทีจึงแกะออกและนำเข้าเตาเผา ชัดชิ้นตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ให้เรียบ จากนั้นนำมาพอกด้วยแก้วแลนทาลัมอะลูมิโนซิลิเกต และทำการเผาเพื่อแทรกซึมแก้วบนแผ่นแพลตินัม-ทองหนา 0.1 มิลลิเมตร กำจัดแก้วส่วนเกินออกโดยการเป่าทรายด้วยอะลูมินัมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน และขัดชิ้นงานให้

ตารางที่ 1 กลุ่มของชิ้นตัวอย่างในการศึกษานี้

Table 1 Groups of specimen in this study

	Group	Core : Veneer	Number
1	In-Ceram core 1.2 mm.	1:0	10
2	In-Ceram core 0.8 mm. + Vitadur alpha 0.4 mm.	2:1	10
3	In-Ceram core 0.6 mm. + Vitadur alpha 0.6 mm.	1:1	10
4	In-Ceram core 0.4 mm. + Vitadur alpha 0.8 mm.	1:2	10
5	Vitadur alpha 1.2 mm.	0:1	10
6	IPS Empress 2 core 1.2 mm.	1:0	10
7	IPS Empress 2 core 0.8 mm.+ IPS Eris 0.4 mm.	2:1	10
8	IPS Empress 2 core 0.6 mm.+ IPS Eris 0.6 mm.	1:1	10
9	IPS Empress 2 core 0.4 mm.+ IPS Eris 0.8 mm.	1:2	10
10	IPS Eris 1.2 mm.	0:1	10



รูปที่ 1 จุดที่ทำการวัดความหนาขึ้นตัวอย่างเพื่อควบคุมความหนาโดยรวมของชิ้นงาน

Fig. 1 Point of measurement to control thickness of specimen

ได้ความหนาตามที่ต้องการในแต่ละกลุ่ม ควบคุมความหนาของชิ้นตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอโดยใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์วัด 5 จุด คือ ตรงกลาง 1 จุด และขอบโดยรอบ 4 จุด ดังรูปที่ 1

การเตรียมส่วนวีเนียร์ ทำการสร้างชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนสำหรับขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 3 4 และ 5 โดยในกลุ่มที่ 2 3 และ 4 นำส่วนของคอร์ที่ขัดได้ขนาดแล้วจากตอนแรกวางในแผ่นเหล็กแม่แบบก่อน จากนั้นนำไปขึ้นรูปวิตาตัวอัลฟา แล้วนำไปเผาตามอุณหภูมิของบริษัทผู้ผลิต ขัดด้านวีเนียร์พอร์ซเลนด้วยกระดาษทราย เบอร์ 80 150 320 600 และ 1000 ตามลำดับ ให้ได้ชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 1.2 ± 0.005 มิลลิเมตร

การเตรียมขึ้นตัวอย่างไอพีเอสเอมเพรส 2

การเตรียมส่วนคอร์ สร้างกระสวนขี้ผึ้ง (wax pattern) รูปแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตรจากแผ่นเหล็กแม่แบบ ด้วยขี้ผึ้งอินเลย์สีน้ำเงิน (Kerr, U.S.A) ให้มีความหนากว่าที่ต้องการเล็กน้อย นำแบบหล่อขี้ผึ้งไปลงอินเวสต์เมนต์ เฝาลงขี้ผึ้ง และเข้าขบวนการอัดภายใต้ความร้อนด้วยเครื่อง EP 500 press ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังจากนั้นนำแบบหล่อออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นลงที่

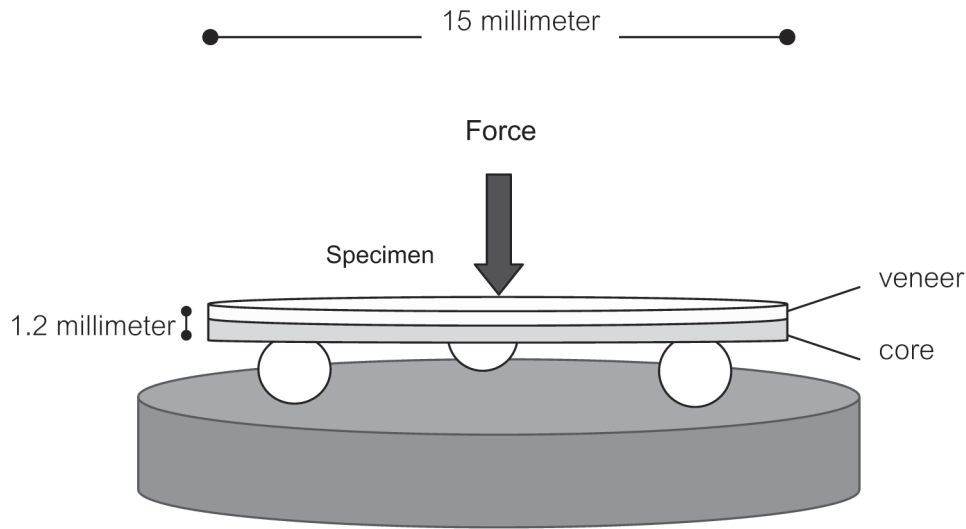
อุณหภูมิห้อง ทำการแกะชิ้นงานเซรามิกออกจากแบบหล่อแล้วขัดแต่งให้ได้ความหนาตามต้องการในแต่ละกลุ่มด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 150 320 600 และ 1000 ตามลำดับ จากนั้นทำการเตรียมพื้นผิวเซรามิกด้วยการเป่าทรายที่ขึ้นตัวอย่างด้วยผงแก้วขนาด 50 ไมครอน ที่ความดัน 1 บาร์ ทำการควบคุมความหนาของชิ้นงานด้วยวิธีเดียวกับอินซีเรม

การเตรียมส่วนวีเนียร์ ทำการสร้างชั้นไอพีเอสอีริสสำหรับขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 7 8 9 และ 10 โดยในกลุ่มที่ 7 8 และ 9 ให้วางส่วนคอร์ลงในแผ่นเหล็กแม่แบบก่อน นำไปขึ้นรูปและเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้นขัดให้ได้ขนาดขึ้นตัวอย่างที่มีความหนาเช่นเดียวกับอินซีเรม

ในขบวนการสร้างชิ้นงานตั้งแต่ขบวนการสร้างชั้นคอร์หรือชั้นวีเนียร์ หากพบชิ้นงานที่มีรอยร้าวหรือรูพรุนที่มองเห็นได้จะทำการคัดออกและสร้างชิ้นงานใหม่ทดแทน นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที

การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนตามมาตรฐาน ISO 6872 ในสภาพแวดล้อมที่แห้ง ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Instron 5583, Instron, Canton, MA, USA) โดยแป้นทดสอบเป็นลูกบอลเหล็กทรงรับมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สามลูกซึ่งเรียงตัวทำมุม 120 องศาวางขึ้นตัวอย่างลงบนแป้นทดสอบโดยให้ส่วนวีเนียร์พอร์ซเลนอยู่ทางด้านบน ดังรูปที่ 2 ใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร เคลื่อนหัวกดลงที่กึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาทีจนแตก บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างแตก และเก็บชิ้นตัวอย่างที่แตกเพื่อนำมาศึกษาลักษณะการแตก (fracture analysis) โดยตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของรอยแตกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, JSM 5410LV, JEOL Ltd, Tokyo, Japan)



รูปที่ 2 การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนด้วยวิธีใช้ทรงกลมรองรับสามลูก
Fig. 2 Biaxial flexural test by means of piston on three ball test

คำนวณค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนโดยกลุ่มชิ้นงานชั้นเดียว (กลุ่มที่ 1 5 6 และ 10) และกลุ่มที่เป็นสองชั้น (กลุ่มที่ 2 3 4 7 8 และ 9) ใช้ความสัมพันธ์ต่างกัันดังนี้

$$BFS \text{ (monolayer)}^{25} = -0.2387 P (X-Y) / d^2$$

$$BFS \text{ (bilayer)}^{23} = 6 M / t_a^2 k_{2p} \{ E_b t_b / E_a t_a + E_b (t_a + t_b) / (E_a t_a + E_b t_b) \}$$

โดย $X = (1+\nu) \ln (r_2/r_3)^2 + \{ (1-\nu) / 2 \} (r_2/r_3)^2$

$$Y = (1+\nu) \{ 1 + \ln (r_1/r_3)^2 \} + (1-\nu) (r_1/r_3)^2$$

$$K_{2p} = 1 + (E_b t_b^3 / E_a t_a^3) + \{ 3 E_b t_b (1 + t_b / t_a) 2 / (E_a t_a E_b t_b) \}$$

$$M = P/8\pi \{ (1+\nu) + 2(1+\nu) \ln r_1/r_2 + (1-\nu) \{ 1 - r_2^2/2r_1^2 \} r_1^2 r_3^2 \}$$

P คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตก (นิวตัน)

D คือ ความหนาของชิ้นตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

ν คือ Poisson's ratio (0.25)

r₁ คือ รัศมีของวงกลมรองรับ (5 มิลลิเมตร)

r₂ คือ รัศมีของบริเวณที่โดนกด (0.75 มิลลิเมตร)

r₃ คือ รัศมีของชิ้นตัวอย่าง (7.5 มิลลิเมตร)

E_a คือ มอดุลัสยืดหยุ่นของวีเนียร์พอร์ซเลน:ไอพีเอส อีริส และ วิตาตัวร์อัลฟา (69 และ 64 กิกะปาสกาล)

E_b คือ มอดุลัสยืดหยุ่นของส่วนคอร์:ไอพีเอสเอมเพรส และ อินซีแรม (96 และ 234 กิกะปาสกาล)

t_a คือ ความหนาของชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน (มิลลิเมตร)

t_b คือ ความหนาของชั้นคอร์ (มิลลิเมตร)

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม เอสพีเอสเอสฟอร์วินโดว์ (SPSS for Window) โดยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, analysis of variance)

ผลการศึกษา

ผลการทดลองค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุออกเซอร์รามิกสองชนิด ที่มีอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 2 ปัจจัยที่จะมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางมีสองปัจจัย ได้แก่ความแตกต่างของชนิดของวัสดุและอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ จึงแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซรามิกสองชนิดในการทดลองนี้

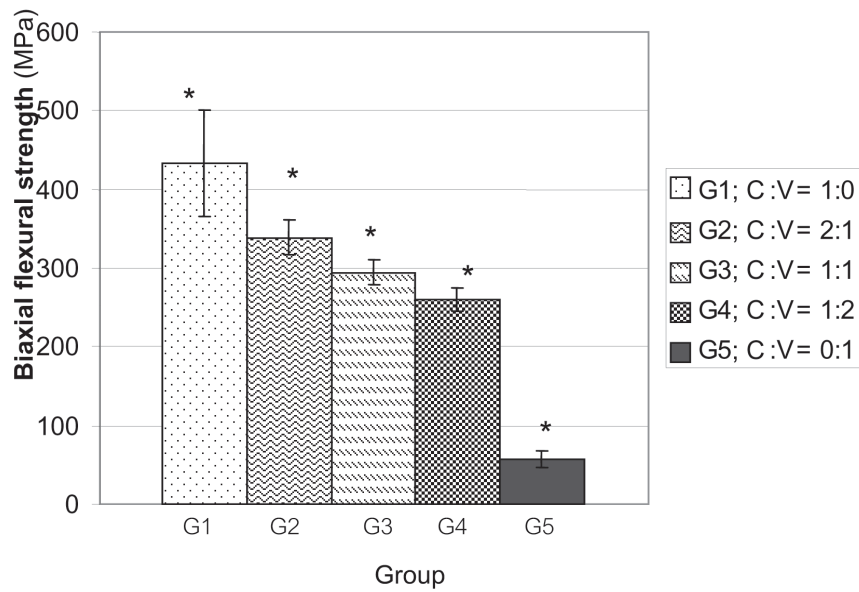
Table 2 Biaxial flexural strength of two ceramic materials obtained in the study

sample	Biaxial flexural strength (MPa)									
	In-Ceram : Vitadur alpha					IPS Empress 2 : IPS Eris				
	group 1	group 2	group 3	group 4	group 5	group 6	group 7	group 8	group 9	group 10
1	495.95	343.47	325.49	256.53	55.51	270.63	219.54	232.50	236.90	75.66
2	466.05	290.48	297.34	266.32	53.84	333.49	237.03	271.47	243.82	68.57
3	479.53	368.32	305.50	260.00	65.07	270.14	209.45	271.50	258.28	58.36
4	354.89	347.03	295.41	270.45	79.24	334.63	230.79	247.47	219.56	69.70
5	418.71	321.12	303.82	241.75	43.77	337.42	218.79	231.42	204.99	75.95
6	345.34	351.24	286.95	286.74	43.24	215.81	252.34	272.95	251.29	68.96
7	453.32	320.05	290.56	270.59	61.52	314.16	292.16	263.23	206.27	73.06
8	515.02	340.59	269.92	250.56	56.88	234.61	283.34	295.01	258.93	62.91
9	477.21	348.93	280.88	258.56	56.45	316.70	266.84	291.78	194.26	65.82
10	324.53	357.79	288.43	237.91	50.39	255.51	253.10	290.00	191.64	66.58
Mean	433.06	338.90	294.43	259.94	56.59	288.31	246.34	266.73	226.59	68.56
Standard deviation	68.37	22.56	15.19	14.53	10.54	44.64	28.16	23.22	26.37	5.52

ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ในเซรามิกแต่ละชนิดต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

นำค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเฉพาะกลุ่มเซรามิกชนิดเดียวกันโดยที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยการทดสอบความแปรปรวนทางเดียวที่นัยสำคัญ 0.05 ได้ผลของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ดังรูปที่ 3 และ 4 ในกลุ่มของอินซีแรมพบว่ากลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงสุดคือ กลุ่มของอินซีแรมทั้งชิ้น ส่วนกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

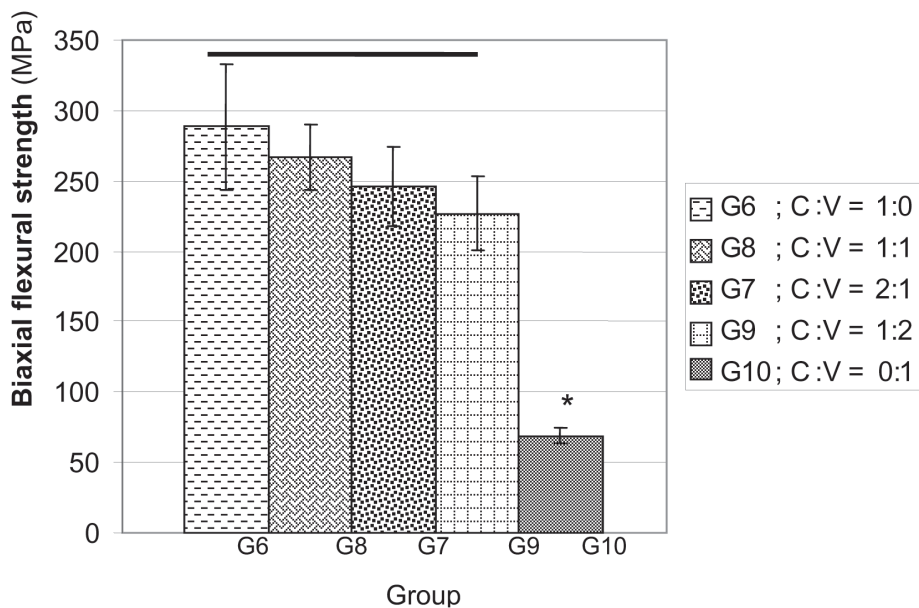
ต่ำสุดคือ กลุ่มของวีเนียร์วิตาดัวร์อัลฟาทั้งชิ้น และเมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าจะลดลงเมื่อความหนาของชั้นคอร์ลดลง แต่ในกลุ่มที่มีไอพีเอสเอ็มเพรสเป็นคอร์นั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกันค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนกลับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยค่าจะไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความหนาของชั้นคอร์ลดลง



* = significant difference at p= 0.05

รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของกลุ่มของอินซีเรม เมื่อวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวนทางเดียว

Fig. 3 Mean and standard deviation of biaxial flexural strength of In-Ceram analyzed by one-way ANOVA



* = significant difference at p= 0.05

— = no significant difference at p= 0.05

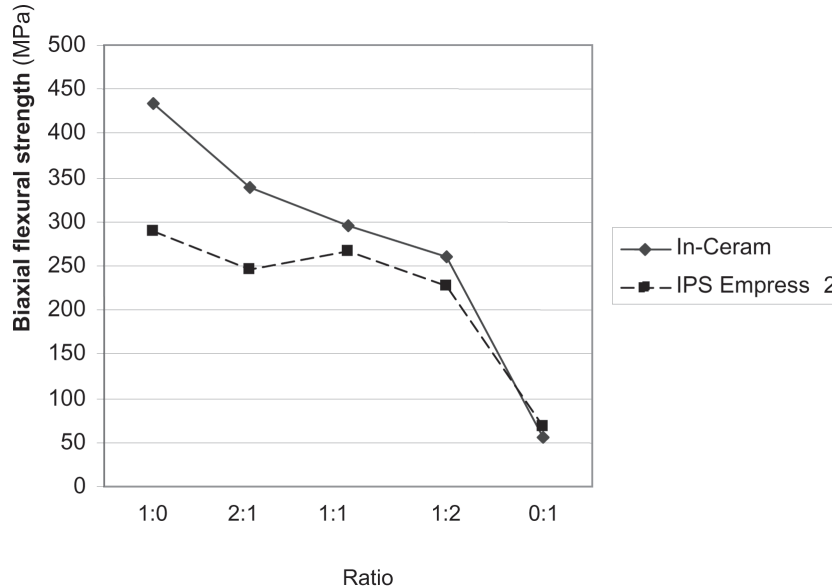
รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของกลุ่มของไอพีเอสเอมเพรส 2 เมื่อวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวนทางเดียว

Fig. 4 Mean and standard deviation of biaxial flexural strength of IPS Empress 2 analyzed by one-way ANOVA

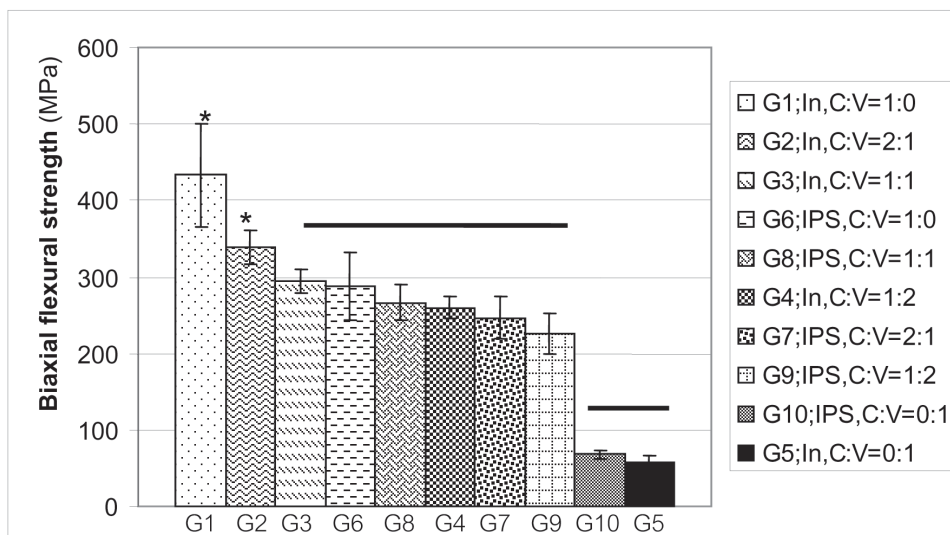
ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์และชนิดของเซรามิกต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

นำค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของกลุ่มเซรามิกทั้งสองชนิดมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยการทดสอบความแปรปรวนสองทางที่นัยสำคัญ 0.05 ได้ผลดังรูปที่ 5 และนำ

ข้อมูลทั้ง 10 กลุ่มมาทดสอบการกระจายตัวและทำการทดสอบด้วยการทดสอบแทมเฮน (Tamhane's test) ร่วมกับที-เทสต์ (T-test) เพื่อจัดกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันให้ชัดเจนยิ่งขึ้นพบว่าชนิดของเซรามิกมีผลร่วมกันกับอัตราส่วนความหนาคอร์ต่อวีเนียร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่าง ๆ
 Fig. 5 Comparison of biaxial flexural strength of In-Ceram and IPS Empress 2 at different core:veneer ratios



* = significant difference at p= 0.05
 — = no significant difference at p= 0.05

รูปที่ 6 การจัดกลุ่มค่าความแข็งแรงดัดขวางของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 หลังการทดสอบด้วยความแปรปรวนสองทาง
 Fig. 6 Groups of biaxial flexural strength of In-Ceram and IPS Empress 2 analyzed by two-way ANOVA

วิจารณ์

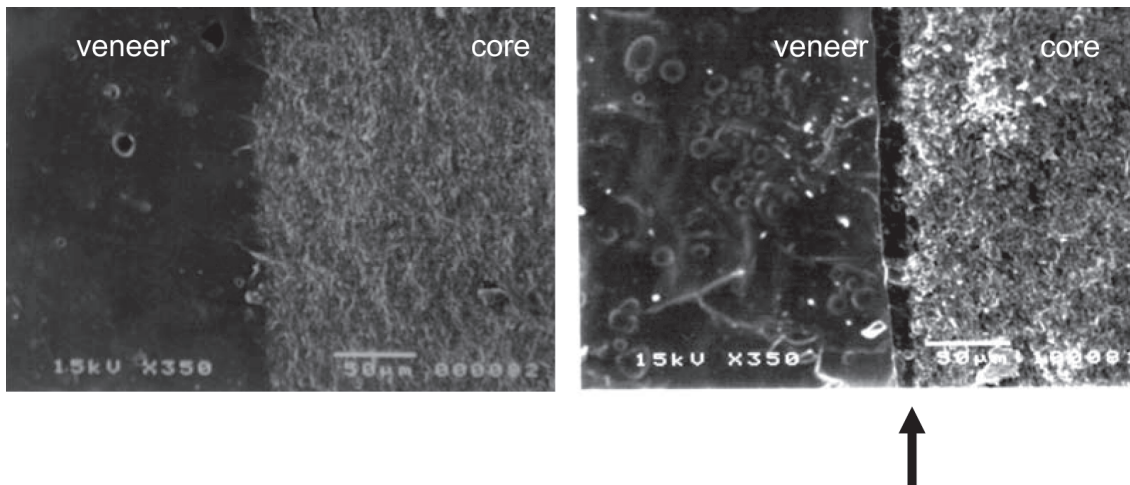
ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมีความเหมาะสมที่จะใช้กับวัสดุที่มีความเปราะอย่างเซรามิกได้ดีเนื่องจากวัสดุอาจมีตำหนิเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบตามแนวแกนต่าง ๆ จึงให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากกว่าความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียว ในขณะที่ทดสอบส่วนล่างของชิ้นตัวอย่างจะเกิดแรงเค้นดึงและส่วนด้านบนจะเกิดแรงเค้นอัด เนื่องจากแรงเค้นดึงจะเกิดมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ดังนั้นความบกพร่องที่บริเวณขอบจะมีผลกระทบน้อย รวมทั้งมีแนวโน้มให้เห็นการแตกแยกชั้นได้ดีกว่า²⁴ นอกจากนี้ชิ้นงานที่มีรอยพรุนจากการขึ้นรูปจะมีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียว^{3,23,26}

Guazzato และคณะ²⁷ พบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนนั้นได้รับผลจากคุณสมบัติของวัสดุที่อยู่ชั้นล่างมากกว่า ซึ่งได้แสดงผลให้เห็นจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) พบว่าเมื่อกดชิ้นงานจะมีแรงเค้นอัดบนผิววีเนียร์ และส่วนคอร์ที่อยู่ด้านล่างจะช่วยการกระจายแรงเค้นได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ White และคณะ²⁸ ซึ่งได้ทำการศึกษาความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียวของเซรามิกสองชั้นไว้ก่อนหน้านี การศึกษานี้จึงให้ชั้นคอร์อยู่ด้านล่างขณะทดสอบ

จากผลการทดลอง พบว่าในกลุ่มที่ 1 อินซีแรมที่เป็นคอร์ทั้งชิ้น มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงที่สุดและสูงกว่าแบบที่ใช้ร่วมกับวีเนียร์ แต่ไอพีเอสเอมเพรส 2 ทั้งชิ้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนใกล้เคียงกับแบบที่ใช้ร่วมกับวีเนียร์ แสดงว่าการใช้คอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนร่วมกันในอินซีแรมมีผลทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง ในขณะที่ไอพีเอสเอมเพรส 2 นั้นแทบจะไม่มีผล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ohyama และคณะ²³ ที่พบว่าในกลุ่มของอินซีแรมนั้นเมื่ออัตราส่วนความหนาของคอร์ลดลง ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนก็ลดลงไปด้วย แสดงว่าความหนาของส่วนคอร์น่าจะมีบทบาทต่างกันในเซรามิกแต่ละชนิด คือมีความสำคัญต่อความแข็งแรงของอินซีแรม ในขณะที่กลุ่มของไอพีเอสเอมเพรส 2 นั้นความหนาของคอร์ไม่มีผลต่อความแข็งแรงโดยรวมมากนัก ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้ได้ผลดังกล่าวน่าจะมา

จากความเข้ากันได้ของวัสดุคอร์และวีเนียร์ Wakabayashi และ Anusavice²⁹ พบว่าความแข็งแรงของการใช้วัสดุเซรามิกสองชนิดร่วมกันในทางคลินิก ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ความหนาของเซรามิกแต่ละชั้น คุณสมบัติของเซรามิก ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุรองรับ เช่น เนื้อฟัน ขนาดและความถี่ของแรงที่ใช้กด ขนาดและตำแหน่งของจุดสัมผัสด้านบดเคี้ยว แรงเครียดที่เหลือค้างของวัสดุหลังจากขบวนการขึ้นรูป ความบกพร่องระหว่างชั้นของวัสดุบุรณะและชั้นซีเมนต์และสภาวะในช่องปาก เช่น น้ำลาย เป็นต้น แต่การสร้างให้เกิดความแข็งแรงของวัสดุบุรณะที่เป็นการใช้เซรามิกสองชนิดร่วมกัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซรามิกแต่ละชนิดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ของวัสดุทั้งสองชนิดด้วย ซึ่งได้แก่คุณสมบัติเชิงกล เช่น ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน และการยึดติดกันของวัสดุ เป็นต้น ถ้าเป็นเซรามิกชนิดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันก็จะเกิดการยึดติดกันได้ดี ในขณะที่ทำการเผาขึ้นรูปเพื่อให้เกิดแรงยึดทางเคมีซึ่งมีความเสถียรมากกว่า หรือหากเซรามิกมีความแตกต่างกันก็อาจใช้วิธีปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกล เช่น การเป่าทรายเพื่อให้เกิดสภาพผิวที่ขรุขระ

จากผลการทดลองพบว่าคอร์ของอินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าคอร์ของไอพีเอสเอมเพรส 2 ประมาณ 1.5 เท่า ส่วนวีเนียร์พอร์ซเลนไอพีเอสอีริสและวิตาดัวร์อัลฟามีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบภายในแต่ละระบบคอร์ของอินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าวิตาดัวร์อัลฟาประมาณ 8 เท่า ในขณะที่คอร์ของไอพีเอสเอมเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าไอพีเอสอีริสเพียงประมาณ 4 เท่า หากเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น พบว่าส่วนของคอร์และวีเนียร์ของอินซีแรมจะมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นแตกต่างกันมากประมาณ 4 เท่า ในขณะที่ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีความแตกต่างกันเพียงประมาณ 1.4 เท่า จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่มีคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนที่มีความยืดหยุ่น



รูปที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงพื้นผิวการแตกบริเวณรอยต่อ (a) ชิ้นตัวอย่างไอพีเอสเอ็มเพรส 2 และไอพีเอสอีริส พบรอยต่อที่ยังติดกันอย่างสมบูรณ์ของคอร์และวีเนียร์ (b) ชิ้นตัวอย่างอินซีแรมและวิตาดัวร์อัลฟา พบการแตกแยกชั้นของคอร์และวีเนียร์ (ครชี้)

Fig 7 Scanning electron micrographs showed the fracture surface at bonding interface (a) specimen of IPS Empress 2 and IPS Eris : complete bonding interface of core and veneer was observed. (b) specimen of In-Ceram and vitadur alpha : delamination of core and veneer (arrow) was observed.

ต่างกันมาก ความหนาของชั้นที่มีความแข็งแรงสูงจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงโดยรวม ซึ่งเห็นได้จากการที่อินซีแรมที่เมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ลดลงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนก็ลดลงไปด้วย แต่ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ซึ่งมีความแตกต่างกันของความยืดหยุ่นของวัสดุน้อยกว่าจะพบว่าเมื่อความหนาของคอร์ลดลงจะมีผลไม่มากนัก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าวัสดุคอร์และวีเนียร์มีความเข้ากันได้ดี ทำให้มีการส่งผ่านและกระจายแรงได้ดีในเซรามิกทั้งชั้นจึงทำให้มีความแข็งแรงโดยรวมใกล้เคียงกันทั้งที่ความหนาของคอร์แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าพบการแตกแยกชั้นของอินซีแรมเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ไม่พบการแตกลักษณะนี้ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (รูปที่ 7) ผลการทดลองสามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งพบการสะสมความเค้นที่บริเวณรอยต่อ (interface) ของวัสดุที่มีมอดุลัสสภาพยืดหยุ่นต่างกันมาก

ซึ่งจะเกิดการแตกจากชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน²⁷ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของอินซีแรมแตกต่างจากของวิตาดัวร์อัลฟามาก ทำให้เกิดแรงเค้นอัดตกค้างและเกิดการแตกแยกชั้นได้มากกว่าไอพีเอสเอ็มเพรส 2 กับไอพีเอสอีริส ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Smith Kelly และ Tesk³⁰ เนื่องจากวิตาดัวร์อัลฟาและอินซีแรมมีค่ามอดุลัสสภาพยืดหยุ่นแตกต่างกันมาก³¹ Al-Dohan และคณะ³² ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างชั้นคอร์กับวีเนียร์ในเซรามิกชนิดต่าง ๆ พบว่าไอพีเอสเอ็มเพรส 2 กับไอพีเอสอีริสมีค่าความแข็งแรงเฉือนมากกว่าเซรามิกชนิดอื่น

ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 จะมีความสวยงามใกล้เคียงพันธุกรรมชาติมากกว่าอินซีแรมเพราะมีความโปร่งแสงมากกว่า โดยทั่วไปพบว่าหากใช้คอร์ของออลเซรามิกที่ความหนามากจะทำให้ครอบฟันนั้นมีความทึบแสงมากขึ้น³³ จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ของไอพีเอสเอ็มเพรส 2

สามารถแปรผันได้โดยไม่มีผลต่อความแข็งแรงมากนัก ดังนั้น ในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม อาจใช้ความหนาของ วีเนียร์พอร์ซเลนได้โดยไม่ต้องกังวลถึงความแข็งแรงที่อาจ ลดลง หากต้องการความแข็งแรงของครอบฟันหรือสะพานฟัน เช่น บริเวณฟันหลัง อาจเลือกใช้อินซีแรมซึ่งควรคำนึงถึง ความหนาของคอร์เป็นสำคัญ Guazzato และคณะ²⁷ กล่าวว่าหากคำนึงแต่ในแง่ความแข็งแรงบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องเคลือบด้วยวีเนียร์เพราะการเคลือบชั้นวีเนียร์กับวัสดุคอร์ ที่มีความแข็งแรงมาก ๆ จะทำให้ค่าความแข็งแรงของครอบฟันลดลง เช่น บริเวณส่วนเชื่อมต่อโยง (connector) ของสะพานฟัน หรือ บริเวณด้านหลังของครอบฟันหน้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในการเลือกใช้วัสดุอลูมินาออกไซด์ จะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของเซรามิก และความเข้ากันได้ ของส่วนคอร์และวีเนียร์แล้ว ยังอาจต้องคำนึงถึงความ สามารถในการยึดกับเนื้อฟันของเซรามิกแต่ละชนิด ความ แนบสนิท อัตราการสึก ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก และสภาพเนื้อฟันที่เหลืออยู่อีกด้วย³³

สรุป

1. อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่า ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าความแข็งแรงดัดขวางจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของคอร์

2. อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกัน ไม่ทำให้ค่า ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของไอพีเอสเอมเพรส 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ความแข็งแรงโดยรวมของเซรามิกที่ใช้ร่วมกันระหว่าง วัสดุคอร์และวีเนียร์ขึ้นอยู่กับชนิดของเซรามิก โดยอัตราส่วน ของคอร์และวีเนียร์จะมีผลเมื่อเซรามิกมีความแตกต่างกันมาก ของวัสดุคอร์และวีเนียร์และความแข็งแรงจะขึ้นกับความหนา ของชั้นคอร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนการวิจัยจากเงินทุนงบประมาณแผ่นดิน ปีพ.ศ. 2548

ขอขอบคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ช่วยให้ ความรู้และคำแนะนำทางด้านสถิติ

ขอขอบคุณบริษัทเดนทัลวิชั่น ที่เอื้อเพื่อวัสดุเอสเอมเพรส 2 และวีเนียร์ไอพีเอสอีริส

ขอขอบคุณเลขาปญญู อารียา ที่ช่วยเหลือในการขึ้นรูป เซรามิก

เอกสารอ้างอิง

1. Myer ML, Ergle JW, Fairhurst CW, Ringle RD. Fatigue failure parameters of IPS Empress porcelain. *Int J Prosthodont.* 1994;7:549-53.
2. Anusavice KJ. Recent developments in restorative dental ceramics. *J Am Dent Assoc.* 1993;124: 72-84.
3. Wen MY, Mueller HJ, Chai J, Wonzniak WT. Comparative mechanical property characterization of 3 all-ceramic core materials. *Int J Prosthodont.* 1999;12:534-41.
4. Rosenblum MA, Schulman A. A review of all-ceramic restorations. *J Am Dent Assoc.* 1997; 128:279-309.
5. Pober RL, Giordano RA, Campbell SD, Pelletier LB. Compositional analysis of In-Ceram infusion glass. *J Dent Res.* 1992;71:253.(abstract)
6. Giordano RA. Dental ceramic restorative systems. *Compend Contin Educ Dent.* 1996;17:779-94.
7. Probster L, Diehl L. Slip casting alumina ceramic for crown and bridge restoration. *Quintessence Int* 1992;23:25-31.

8. Sorensen JA, Knode H, Torres TJ. In-Ceram all ceramic bridge technology. *Quintessence Dent Tech.* 1992;15:41-46.
9. Kanchanatawewat K, Giordano RA, Pober RL, Nathanson D. Evaluation flexural strength of materials for all-ceramic restorations. *CU Dent J.* 1997;20:1-8.
10. Seghi RR, Daher T, Caputo A. Relative flexural strength of dental restorative ceramics. *Dent mater.* 1990;6:181-4.
11. Seghi RR, Sorensen JA. Relative flexural strength of six new ceramic materials. *Int J Prosthodont.* 1995;8:239-46.
12. Giordano RA, Cima M, Prober R. Effect of surface finishing on the flexural strength of feldspathic and aluminous dental ceramics. *Int J Prosthodont.* 1995;5:311-9.
13. Scotti R, Catapano S, D'Elia A. A clinical evaluation of In-Ceram crowns. *Int J Prosthodont.* 1995;8:320-3.
14. Dong JK, Luthy H, Wohlwend A, Scharer P. Heat - pressed ceramics : Technology and strength. *Int J Prosthodont.* 1992;5:9-16.
15. Anusavice KJ. *Philips science of dental materials.* 10thed. Philadelphia : W.B. Sauder Company, 1996:583-618.
16. Mackert JR Jr, Russell CM. Leucite crystallization during processing of a heat-pressed dental ceramic. *Int J Prosthodont.* 1996;9:261-5.
17. Schweiger M, Holand W, Frank M. IPS Empress 2 : A new pressable high-strength glass-ceramic for esthetic all- ceramic restoration. *Quintessence Dent Tech.* 1999;22: 143-151.
18. Janda R, Roulet JF, Wulf M, Tiller HJ. A new adhesive technology for all-ceramics. *Dent Mater.* 2003;19:567-73.
19. Wagner WC, Chu TM. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. *J Prosthet Dent.* 1996;76:140-4.
20. Oden A, Rowcliffe D, Zeng K. Flexural test on dental ceramics. *Int J Prosthodont.* 1996;9:434-9.
21. Arbakry M, Guazzato M, Swain MV. Biaxial flexural strength, elastic moduli, and x-ray diffraction characterization of three pressable all-ceramic material. *J Prosthet Dent.* 2003;89:374-80.
22. Zeng K, Oden A, Rowcliffe D. Evaluation of mechanical properties of dental ceramic core materials in combination with porcelains. *Int J Prosthodont.* 1998;11:183-9.
23. Ohshima T, Yoshinari M, Oda Y. Effect of cyclic loading on the strength of all ceramic materials. *Int J Prosthodont.* 1999;12:28 -37.
24. Thompson GA. Influence of relative layer height and testing method on the failure mode and origin in a bilayered dental ceramic composite. *Dent Mater.* 2000;16:235-43.
25. The international organization for Standardization. *Dental ceramic. International standard ISO 6872,* 2nd ed. Switzerland : Case Postale, 1995;56:6-8.
26. Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res.* 1990;69:791-9.
27. Guazzato M, Proos K, Sara G, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/core ceramics. *Int J Prosthodont.* 2004;17:142-9.

28. White SN, Caputo AA, Vidjak FM, Seghi RR. Moduli of rupture of layered dental ceramics. *Dent Mater.* 1994;10:52-58.
29. Wakabayashi N, Anusavice KJ. Crack initiation modes in bilayered alumina/porcelain disks as a function of core/veneer thickness ratio and supporting substrate stiffness. *J Dent Res.* 2000; 79:1398-404.
30. Smith TB, Kelly JR, Tesk JA. In vitro fracture behavior of ceramic and metal-ceramic restorations. *J Prosthodont.* 1994;3:138-44.
31. Cattell MJ, Palumbo RP, Knowles JC. The effect of veneering and heat treatment on the flexural strength of Empress 2 ceramics. *J Dent.* 2002;30: 161-9.
32. Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosthet Dent.* 2004;91:349-55.
33. Heffernan MJ, Aquillino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargis MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: Core materials. *J Prosthet Dent.* 2002;88:4-9.

Biaxial flexural strength of two all-ceramic materials at different layering thickness

Pawarisa Thomvanich DDS.¹

Prarom Salimee DDS., Ph.D.²

Mansuang Arksornnukit DDS., MSc., Ph.D.²

¹Master student

²Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Abstract

Objective To investigate the strength of two all ceramic systems; In-Ceram and IPS Empress 2 at different thicknesses of core and veneer ratio by means of biaxial flexural strength (BFS).

Material and methods Fifty disc samples of each all ceramic system, 15 mm. in diameter and 1.2 mm. in thickness, were fabricated following manufacturer's recommendations. The samples were divided into five groups (n=10 each) depending on different core and veneer thickness ratio 1:0, 2:1, 1:1, 1:2 and 0:1, respectively. All samples were subjected to BFS testing following ISO 6872(1995) on the universal testing machine with crosshead speed of 1.0 mm/min.

Results The means \pm standard deviation of BFS of In-Ceram in group 1 - 5 were 433.1 ± 68.4 , 338.9 ± 22.6 , 294.4 ± 15.2 , 259.9 ± 14.5 and 56.6 ± 10.5 MPa, respectively. For IPS Empress 2 in group 6 - 10 were 288.3 ± 44.6 , 246.3 ± 28.2 , 266.73 ± 23.22 , 226.6 ± 2.4 and 68.6 ± 5.5 MPa, respectively. ANOVA and Tamhane's test revealed that the BFS of In-Ceram alone was significantly higher than In-Ceram combined with veneer porcelain as well as the decreasing of BFS when the thickness of core was decreased respectively ($p < 0.05$). For IPS Empress 2, the BFS of IPS Empress 2 alone was not significantly different from IPS Empress 2 combined with veneer porcelain with any core to veneer ratio as well as the BFS among the group combined with veneer porcelain ($p > 0.05$).

Conclusion The core and veneer thickness ratio affects the BFS of In-Ceram but not for that of IPS Empress 2.

(CU Dent J. 2007;30:141-56)

Keyword : all ceramic; biaxial flexural strength; core; In-Ceram; IPS Empress 2; veneer porcelain
