

ประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสงต้นแบบต่อค่าความแข็งผิว ของเรซินคอมโพสิตเมื่อฉายแสงที่มุมแตกต่างกัน

Efficacy of Light Curing Unit Prototype on Surface Hardness of Resin Composite as a Function of Tilt Angle

ยุทธนา คูวุฒยากร¹, กมลชนก โสภะ², กัลยรัตน์ ไชยกลางเมือง³, ธนกร วงศ์ฐานะ³,
พรชนิษฐ์ ตั้งสัมพันธ์³, สุพิชชา เอกพัฒน์พามิชัย³
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเนชั่น

²ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
³นักศึกษาชั้นปีที่ 6 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Yutthana Khuwutthayakorn¹, Kamonchanok Sopa², Kalyarat Chaiklangmuang³, Kalyarat Chaiklangmuang³
Thanakorn Wongthana³, Pornchanich Tangsumpanta³, Supitcha Ekpatanaparnich³

¹Faculty of Dentistry, Nation University

²Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

³Sixth year dental students, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2563; 41(3) : 65-73

CM Dent J 2020; 41(3) : 65-73

Received: 6 June, 2019

Revised: 17 September, 2019

Accepted: 23 September, 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสงต้นแบบ และเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุเรซินคอมโพสิตเมื่อฉายแสงด้วยมุมเอียงที่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: เตรียมชิ้นเรซินคอมโพสิตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 90 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ซีร่าลักซ์ 2 บลูเฟส และแสงสีฟ้า แบ่งมุมที่ใช้ฉายแสง 3 มุมได้แก่ มุม 90 องศา และ 70 องศา ทดสอบค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ที่ผิวด้านบนและล่างของชิ้น

Abstract

Purpose: To evaluate the efficacy of light curing unit (LCU) prototype and to compare microhardness values of resin composite at different tilt angles.

Materials and Methods: Ninety composite resin specimens were prepared using plastic molds (6.0 mm internal diameter and 2 mm. depth) and divided into nine experimental groups (n=10) : Three LED light curing units (Celalux2, Bluephase and SangSeeFah) and three different tilt angles ($\alpha = 90^\circ, 80^\circ, 70^\circ$). After 24 h, Vicker-hardness

Corresponding Author:

ยุทธนา คูวุฒยากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเนชั่น 52000

Yutthana Khuwutthayakorn

Assistant Professor, Faculty of Dentistry, Nation University,
Lampang 52000, Thailand

E-mail: whadent@hotmail.com

ตัวอย่าง นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ความแปรปรวนแบบสองทางและการวิเคราะห์เชิงซ้อนด้วย วิธีทูกีย์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา: เมื่อใช้เครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าและ บลูเฟสฉายแสงด้วยมุมที่แตกต่างกันพบว่าค่าเฉลี่ยความ แข็งผิวระดับจุลภาคที่ผิวด้านบนไม่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ เครื่องฉายแสงซีราลักซ์ 2 ฉายแสงด้วย มุมเอียงเพิ่มขึ้น พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาค ของเรซินคอมโพสิตด้านบนจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และให้ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาคต่ำที่สุดในทุกมุม การฉายแสงเมื่อเทียบกับเครื่องฉายแสงผลิตภัณฑ์อื่น

บทสรุป: การเอียงมุมฉายแสงที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ ค่าความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตลดลงเฉพาะเครื่อง ฉายแสงแสงซีราลักซ์ 2 และเครื่องฉายแสงแต่ละผลิตภัณฑ์ มีประสิทธิภาพในการฉายแสงเพื่อให้วัสดุเรซินคอมโพสิต เกิดการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างกัน

คำสำคัญ: เครื่องฉายแสง เรซินคอมโพสิต มุมที่ใช้ฉายแสง

measurement was made on the top and bottom surfaces of the specimen. The values were analyzed by two-way ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$).

Results: The microhardness values showed no significant differences between different tilt angles while using SangSeeFah and Bluephase. By increasing the tilt angle of Celalux2 the top microhardness showed significantly decreased. and Celalux2 had the lowest hardness compared to all LCU at all angles.

Conclusion: The tilt angle of Celalux2 had an effect on microhardness of resin composite. Different light curing units gave the different levels of resin composite polymerization.

Keywords: light curing unit, resin composite, tilt angle

บทนำ

ในปัจจุบันมีความนิยมในการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิต ชนิดบ่มตัวด้วยแสงมากขึ้น เนื่องจากผู้ป่วยมีความต้องการ ด้านความสวยงามเพิ่มมากขึ้น การกรอเตรียมโพรงฟัน เป็นการกรอกำจัดเฉพาะรอยผุ ทำให้สามารถเก็บรักษาส่วน ของฟันที่ดีเอาไว้ วัสดุเรซินคอมโพสิตมีการพัฒนาคุณสมบัติ ของวัสดุอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านระบบสารยึดติด ด้านความ สวยงาม การใช้งานที่ง่ายและคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่เรซินคอมโพสิตจะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น วัสดุ เรซินคอมโพสิตต้องถูกฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงที่มี ประสิทธิภาพดีเพื่อกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ที่สมบูรณ์ การวัดระดับการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ สามารถวัดได้หลายวิธีทั้งวิธีการวัดโดยตรงและวัดโดยอ้อม วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดพันธะทางเคมีในโมเลกุลของ เมทาโครเลตเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการเกิดพอลิเมอร์ ตัวอย่างวิธีการวัดโดยตรง เช่น รามานสเปกโตรสโกปี (Raman spectroscopy) ฟลูออโรสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด

สเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared spectrometry) ซึ่งวิธีวัดโดยตรงนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างซับซ้อน ใช้ เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง วิธีการวัดโดยอ้อมเป็นวิธีที่ง่าย และใช้เวลาน้อย เช่น การทดสอบโดยการขีดผิวชั้นงานเพื่อ ทดสอบดูความแข็งตัว (scrape test) การวัดความแข็งผิว (surface hardness) ซึ่งการวัดความแข็งผิวเป็นวิธีที่ให้ผล ใกล้เคียงกับวิธีการวัดระดับการเกิดพอลิเมอร์โดยตรงและ ให้ความสัมพันธ์โดยตรง โดยวัสดุที่มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ สูงจะให้ค่าความแข็งผิวสูงด้วย^(1,2)

เครื่องฉายแสงทางทันตกรรมได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลาย ประเภท ได้แก่ เครื่องฉายแสงควอทซ์ทั้งสแตนด์บาย (Quartz tungsten halogen lamp) เครื่องฉายแสงพลาสมา-อาร์ค (Plasma arc lamp) เครื่องฉายแสงเลเซอร์ (Laser lamp) และเครื่องฉายแสงไฟท์อีมิตติงไดโอด (Light-emitting diode) หรือ แอลอีดี (LED)⁽³⁾ ซึ่งเครื่องฉายแสงแต่ละ ประเภทนั้นให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและ เหมาะสมกับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงที่ต่างกัน โดยเครื่อง

ฉายแสงที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ ต้องมีความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง ซึ่งสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงที่นิยมใช้ในเรซินคอมโพสิตคือแคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 468-470 นาโนเมตรได้ดีที่สุด^(4,5) นอกจากนี้เครื่องฉายแสงต้องมีความเข้มแสงที่มากพอที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการเกิดพอลิเมอร์ได้ ในปัจจุบันเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะกับแคมฟอร์ควิโนน ตัวเครื่องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีแบตเตอรี่ในตัวทำให้เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เครื่องฉายแสงแอลอีดีรุ่นแรกๆ นั้นจะประกอบด้วยหลอดแอลอีดีหลายหลอด ให้ความยาวคลื่นแสงในช่วง 450-500 นาโนเมตร และให้ความเข้มแสงที่ต่ำ ทำให้ต้องใช้เวลาในการฉายแสงที่นานเพื่อให้เกิดการเกิดพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์⁽⁶⁾ เครื่องฉายแสงแอลอีดีรุ่นที่ 2 ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มแสงสูงขึ้นประมาณ 600-800 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และปรับปรุงช่วงความยาวคลื่นให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 420-480 นาโนเมตร ทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องฉายแสงแอลอีดีรุ่นแรก⁽⁷⁾ และมีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าเครื่องฉายแสงควอทซ์-ทังสเตนฮาโลเจน⁽⁸⁾ แต่เครื่องฉายแสงแอลอีดีรุ่นที่ 2 ยังคงให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่แคบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแคมฟอร์ควิโนนเท่านั้น ทำให้เกิดปัญหาในการกระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุเรซินที่ใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาชนิดอื่น จึงมีการพัฒนาเครื่องฉายแสงแอลอีดีรุ่นที่ 3 เพื่อให้ได้แสงในช่วงความยาวคลื่นกว้างขึ้นตั้งแต่ 400-500 นาโนเมตร และให้ความเข้มแสงสูงถึง 1200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร^(9,10)

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแสงที่ได้ เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสง ระยะเวลาที่ใช้ฉายแสง และมุมที่ใช้ในการฉายแสง เป็นต้น มีการแนะนำมุมที่ใช้ในการฉายแสงให้ตั้งฉากกับผิวเรซินคอมโพสิต⁽¹¹⁾ แต่การใช้งานในทางคลินิกพบว่า มีข้อจำกัดหลายประการในการวางปลายเครื่องฉายแสงให้ตั้งฉากกับผิวเรซินคอมโพสิตซึ่งอาจถูกขัดขวางโดยลักษณะทางกายวิภาคของซี่ฟัน ฟันคู่สบ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการบูรณะ เช่น แล็บเมทริกซ์ (matrix

band) ที่ยึดแผ่นยางกันน้ำลาย (rubber dam clamp) เป็นต้น การศึกษาของ Nozu และคณะในปี 2015 ทำการวัดความเข้มแสงบริเวณพื้นด้านเหงือกของโพรงฟันแบบคลาสสิก โดยใช้มุมการฉายแสงที่ 90 องศา และ 60 องศา พบว่าความเข้มแสงจากการฉายแสงทำมุม 60 องศา มีค่าความเข้มแสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการฉายแสงที่ทำมุม 90 องศา⁽¹²⁾ และการศึกษาของ Konerding และคณะ ในปี 2016 ทำการวัดค่าพลังงานแสง (radiant exposure) ในโพรงฟันแบบคลาสสิกพบว่าเครื่องฉายแสงส่วนใหญ่เมื่อมีการเอียงมุมการฉายที่มากขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานแสงที่วัดได้ลดลง ซึ่งเห็นผลอย่างชัดเจนในเครื่องฉายแสงที่มีลักษณะลำแสงไม่กลมกลืน (non-uniform beam profile) ที่ให้ความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอในแต่ละหน่วยพื้นที่⁽¹¹⁾ ดังนั้นเห็นได้ว่าเมื่อเอียงมุมที่ใช้ในการฉายแสงจะทำให้ค่าความเข้มแสงและพลังงานแสงลดลง

จะเห็นได้ว่าเครื่องฉายแสงที่มีประสิทธิภาพดีนั้นต้องมีองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง ได้แก่ ความเข้มแสงที่สูงพอเหมาะ ความยาวคลื่นแสงที่สัมพันธ์กับสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสง และลักษณะลำแสงที่มีความกลมกลืน ทางผู้วิจัยจึงได้ประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องฉายแสงต้นแบบที่ผลิตในประเทศไทยในชื่อ “แสงสีฟ้า” (SangSeeFah) เพื่อให้เป็นเครื่องฉายแสงที่มีประสิทธิภาพดี ราคาถูก ใช้วัสดุทั้งหมดที่สามารถหาได้จากภายในประเทศ และมีการเลือกใช้เทคโนโลยีหลอดแอลอีดีแบบชิปออนบอร์ด (chip on board) แทนการใช้หลอดแอลอีดีแบบเซอร์เฟซเมาท์แอลอีดี (surface mount LED) ที่นิยมใช้ในเครื่องฉายแสงส่วนใหญ่ ซึ่งหลอดแอลอีดีแบบชิปออนบอร์ดเป็นแอลอีดีที่มีการนำเอาชิปหลายๆ ตัวมารวมไว้ในแผ่นเดียวกัน เพื่อให้ได้แสงที่มีความกลมกลืนสม่ำเสมอและกระจายแสงได้ดี⁽¹³⁾ ร่วมกับใช้แท่งแก้วนำแสงชนิดเทอร์โบเพื่อใช้ในการรวมแสงให้ได้ความเข้มแสงที่สูง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฉายแสงต้นแบบ และเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของวัสดุเรซินคอมโพสิตเมื่อฉายแสงด้วยมุมเอียงที่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. วัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง

วัดความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 3

ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องฉายแสงซีราลักซ์ 2 (Celalux2 (VOCO, Cuxhaven, Germany), เครื่องฉายแสงบลูเฟส (Bluephase® Stylezoi Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) และเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้า (SangSeeFah, Dent CMU, Chiang Mai, Thailand) วางปลายแท่งแก้วนำแสงตั้งฉากกับเซนเซอร์รับแสง ควบคุมระยะทางระหว่างปลายแท่งแก้วนำแสงถึงเซนเซอร์รับแสงให้มีระยะห่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ใช้เรดิโอมิเตอร์ Bluephase Meter II (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ทำการวัด 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยความเข้มแสงหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ข้อมูลเครื่องฉายแสงแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 1

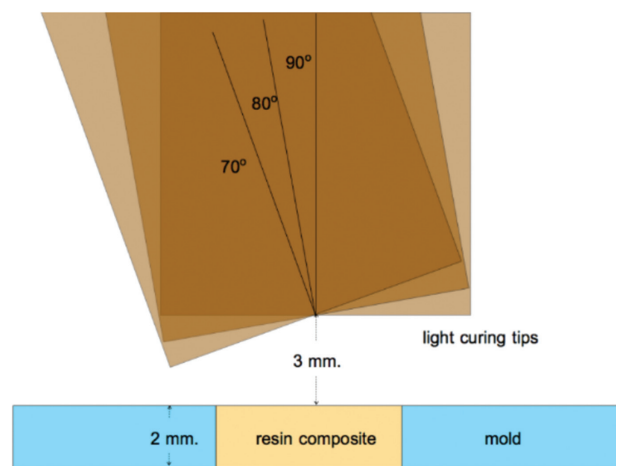
2. วัดค่าความเข้มฟิวระดับจุลภาค

เตรียมแม่แบบพลาสติกสำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร ทำการเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยใช้เรซินคอมโพสิต Filtek™ Z350XT สี A3 (3M ESPE, Minnesota, USA) จำนวน 90 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็น 9 กลุ่มกลุ่มละ 10 ชิ้น นำเรซินคอมโพสิตอุดลงไปแม่แบบพลาสติก ประกอบแม่แบบพลาสติกเข้ากับฐานแม่แบบเพื่อปรับค่าความเอียงของมุมที่ใช้ฉายแสง และควบคุมระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางปลายแท่งแก้วนำแสงถึงบริเวณกึ่งกลางผิวชิ้นเรซินคอมโพสิตให้มีระยะห่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 3 ผลิตภัณฑ์ และแบ่งมุมในการฉายแสงเป็น 3 มุมที่ 90 80 และ 70 องศา แสดงดังรูปที่ 1 ทำการฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ควบคุมพลังงานแบตเตอรี่ของเครื่องฉายแสงด้วยการนำกลับมาวางบนแท่นชาร์จทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จในแต่ละชิ้น นำชิ้นตัวอย่างเรซินคอมโพสิตเก็บไว้ในน้ำกลั่น อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำ

ชิ้นตัวอย่างไปทดสอบค่าความเข้มฟิวแบบวิกเกอร์ที่ผิวด้านบนและด้านล่างด้านละ 9 ตำแหน่ง โดยคำนวณจากสูตร $HV = 1.854(F/d^2)$ HV คือค่าความเข้มฟิววิกเกอร์ F คือแรงที่ใช้ในการกดหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักหัวกดที่ 200 กรัมกดเป็นเวลา 15 วินาที และ d คือค่าเฉลี่ยเส้นทแยงมุมทั้งสองหน่วยเป็นมิลลิเมตร หาค่าเฉลี่ยความเข้มฟิวแบบวิกเกอร์ด้านบนและด้านล่างของแต่ละชิ้นตัวอย่าง หาค่าร้อยละอัตราส่วนความเข้มฟิวด้านล่างต่อด้านบน นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติความแปรปรวนแบบสองทางและการวิเคราะห์เชิงซ้อนด้วยวิธีทิวกีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 2 โดยเครื่องฉายแสงซีราลักซ์ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่สูงที่สุดที่ 624 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เครื่องฉายแสงแสง



รูปที่ 1 แสดงการปรับมุมที่ใช้ในการฉายแสง โดยแบ่งเป็นมุม 90 80 และ 70 องศา

Figure 1 show different tilting angle at 90 80 and 70 degree

ตารางที่ 1 เครื่องฉายแสงที่ใช้ในการศึกษานี้

Table 1 Light curing units used in this study.

เครื่องฉายแสง	Celalux2	Bluephase® Style 20i	SangSeeFah
Manufacturer	VOCO, Germany	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein	Dent CMU, Thailand
Optical fiber	8 mm, Amber light guide	10 mm, Black Standard light guide	8 mm, Black Turbo light guide
Radiation intensity (mW/cm ²)	1000	1100	1100
Emission spectrum (nm)	430-490 nm	385 – 515 nm	430-490 nm

สีฟ้าและบลูเฟส ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่ 570 และ 507 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความเข้มไฟระดับจุลภาค และอัตราส่วนความเข้มไฟด้านล่างส่วนด้านบนแสดงดังตารางที่ 3 เมื่อใช้เครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าและบลูเฟส ฉายแสงด้วยมุมที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มไฟระดับจุลภาคที่ผิวด้านบนของเรซินคอมโพสิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเครื่องฉายแสงบลูเฟส ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มไฟของเรซินคอมโพสิตด้านล่างสูงที่สุดในที่มุมการฉายแสง เมื่อใช้เครื่องฉายแสงซีราลักซ์ 2 ฉายแสงด้วยมุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 90 80 และ 70 องศา พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มไฟระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้านบนจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มไฟระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้านล่างที่ได้ไม่มีความแตกต่างเมื่อฉายแสงด้วยมุมที่ต่างกัน และให้ค่าเฉลี่ยความเข้มไฟระดับจุลภาคต่ำที่สุดในทุกมุมของการฉายแสงทั้งผิวด้านบนและล่างเมื่อเทียบกับเครื่องฉายแสงผลิตภัณฑ์อื่น

เครื่องฉายแสงซีราลักซ์ 2 ให้ค่าร้อยละอัตราส่วนความเข้มไฟด้านล่างต่อด้านบนต่ำกว่าร้อยละ 80 ในทุกมุมของการฉายแสง เครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าและบลูเฟส ให้ค่าร้อยละอัตราส่วนความเข้มไฟด้านล่างต่อด้านบนมากกว่าร้อยละ 80 ในทุกมุมของการฉายแสง

บทวิจารณ์

การวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการวัดค่าอัตราการเกิดพอลิเมอร์โดยวิธีทางอ้อมจากการวัดความเข้มระดับจุลภาคแบบวิกเกอร์ เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย มีความแม่นยำ เหมาะกับการทดสอบชิ้นงานเรซินคอมโพสิตที่มีความบางและเปราะได้^(14,15) และเลือกใช้การทดสอบความเข้มไฟที่ผิวด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตด้านละ 9 ตำแหน่ง เพื่อต้องการแสดงถึงระดับการเกิดพอลิเมอร์ที่ครอบคลุมวัสดุทั้งชิ้น รวมทั้งค่าความเข้มไฟที่ได้มีความสัมพันธ์กับลักษณะของลำแสง (beam profile) จากเครื่องฉายแสง ซึ่งเครื่องฉายแสงที่ให้ลักษณะลำแสงที่มีความกลมกลืน (uniform beam profile) จะให้ค่าความเข้มไฟในแต่ละตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเครื่องฉายแสงที่ให้ลักษณะแสงที่ไม่มีความกลมกลืน จะทำให้ค่าความเข้มไฟในแต่ละบริเวณที่แตกต่างกันมาก เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของการเกิดพอลิเมอร์ในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน⁽¹⁶⁾ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินคอมโพสิต ได้แก่ ระยะห่างระหว่างปลายแท่งแก้วนำแสงกับผิวด้านบนของเรซินคอมโพสิต ระยะเวลาการฉายแสง และสีของเรซินคอมโพสิต^(17,18)

เครื่องมือวัดความเข้มแสงที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเครื่องวัดขนาดเล็ก ใช้งานง่าย พัฒนาขึ้นเพื่อใช้วัดความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 400- 515 นาโนเมตร เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องฉายในทางคลินิก⁽¹⁹⁾ จากผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มแสงที่วัดได้ของเครื่องฉายแสงทุกผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่าข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากการวิจัยที่มีการควบคุมระยะห่างระหว่างปลายแท่งแก้วนำแสงถึงเซนเซอร์รับแสงให้มีระยะห่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แสงต้องเคลื่อนที่ผ่านอากาศจะมีการหักเหและกระจายแสงทำให้ความเข้มแสงลดลง โดยความเข้มแสงจะแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง โดยทั่วไปการฉายแสงควรวางปลายแท่งแก้วนำแสงให้ชิดกับวัสดุ แต่เมื่อมีการเอียงมุมการฉายแสงจะทำให้ระยะห่างจากปลายแท่งแก้วถึงผิววัสดุเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการเอียงมุมในการฉายแสงที่ 70 องศาต้องมีการควบคุมระยะห่างระหว่างปลายแท่งแก้วนำแสงถึงผิววัสดุอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร ในทางคลินิกมีการแนะนำให้ใช้เครื่องฉายแสงที่ให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรในการกระตุ้นเพื่อให้วัสดุเกิดการเกิดพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์⁽²⁰⁾ ซึ่งเครื่องฉายแสงทุกผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เมื่อฉายแสงห่างวัสดุที่ 3 มิลลิเมตรให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่า 400 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสงที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องวัดความเข้มแสงที่ใช้ ขนาดของช่องวัดความเข้มแสง ช่วงความยาวคลื่นแสง และขนาดของปลายเครื่องฉายแสง^(21,22)

มีการศึกษายอมรับว่าการบ่มตัวในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถวิเคราะห์ได้จากอัตราส่วนความเข้มไฟด้านล่างต่อด้านบนต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 80^(23,24) โดยความเข้มไฟด้านล่างของวัสดุที่ได้รับแสงจะมีค่ามากกว่าด้านล่างเนื่องจากผิวด้านบนมีระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงน้อยกว่าผิวด้านล่าง และเมื่อแสงมีการตกกระทบยังวัสดุจะมีการดูดกลืน หักเหและกระจายแสงออกไป ทำให้ด้านล่างได้รับปริมาณแสงที่ลดลง โดยการศึกษาพบว่าเครื่องฉายแสง

มีการศึกษายอมรับว่าการบ่มตัวในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถวิเคราะห์ได้จากอัตราส่วนความเข้มไฟด้านล่างต่อด้านบนต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 80^(23,24) โดยความเข้มไฟด้านล่างของวัสดุที่ได้รับแสงจะมีค่ามากกว่าด้านล่างเนื่องจากผิวด้านบนมีระยะห่างจากปลายหลอดนำแสงน้อยกว่าผิวด้านล่าง และเมื่อแสงมีการตกกระทบยังวัสดุจะมีการดูดกลืน หักเหและกระจายแสงออกไป ทำให้ด้านล่างได้รับปริมาณแสงที่ลดลง โดยการศึกษาพบว่าเครื่องฉายแสง

ซีราล็กซ์ 2 ให้อัตราส่วนความเข้มผิวล่างต่อนบนน้อยกว่าร้อยละ 80 ในทุกมุมของการฉายแสง และให้ค่าเฉลี่ยความเข้มผิวระดับจุลภาคต่ำที่สุดในทุกมุมของการฉายแสงทั้งผิวด้านบนและล่างเมื่อเทียบกับเครื่องฉายแสงผลิตภัณฑ์อื่น ทั้งที่เครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 ให้ค่าความเข้มแสงที่สูงใกล้เคียงกับเครื่องฉายแสงผลิตภัณฑ์อื่น แต่จากการศึกษาพบว่าเครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 ให้ค่าแสงที่มีลักษณะไม่มีความกลมกลืนกัน โดยให้ความเข้มแสงบริเวณกึ่งกลางที่สูงมากและมีค่าความเข้มแสงลดลงเมื่อบริเวณระยะห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มผิวของวัสดุที่มีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางขึ้นวัสดุ และค่าความเข้มผิวน้อยลงเมื่อบริเวณระยะห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางมากขึ้น^(11,16) โดยการวิจัยนี้ทำการวัดค่าความเข้มผิวในหนึ่งด้านของชิ้นงาน 9 ตำแหน่งโดยเป็นตำแหน่งกึ่งกลาง 1 ตำแหน่งและตำแหน่งโดยรอบอีก 8 ตำแหน่ง ดังนั้นค่าเฉลี่ยความเข้มผิวที่ได้จากการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 จึงมีค่าต่ำที่สุด

เครื่องฉายแสงบลูเฟสเป็นเครื่องฉายแสงที่มีลักษณะลำแสงที่มีความกลมกลืน และมีค่าความเข้มแสงในแต่ละบริเวณสูงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้เกิดการเกิดพอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิววัสดุ^(11,16) ดังนั้นค่าเฉลี่ยความเข้มทั้งพื้นผิวด้านบนและล่างที่สูง รวมทั้งมีอัตราส่วนความเข้มผิวด้านล่างต่อนบนมากกว่าร้อยละ 80 ในทุกมุมที่ฉายแสง

จากการวิจัยนี้พบว่าเมื่อใช้เครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 ฉายแสงด้วยมุมเอียงเพิ่มขึ้นพบค่าเฉลี่ยความเข้มผิวระดับจุลภาคของเรซินคอมโพสิตด้านบนจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่าการเอียงมุมการฉายที่มากขึ้นทำให้ค่าพลังงานแสงที่วัดได้ลดลง⁽¹¹⁾ ส่วนเมื่อฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าและเครื่องฉายแสงบลูเฟสด้วยมุมเอียงเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความเข้มผิวด้านบนของเรซินคอมโพสิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Konerding และคณะ ที่พบว่าเมื่อมีการเอียงมุมฉายแสงเพิ่มมากขึ้นในเครื่องฉายแสงที่ให้ลักษณะลำแสงที่มีความกลมกลืน ค่าพลังงานแสงที่วัดได้นั้นจะไม่ลดลงตามมุมเอียงที่เพิ่มขึ้น⁽¹¹⁾

อย่างไรก็ตามการฉายแสงด้วยมุมที่แตกต่างกันไม่ได้ทำให้ค่าความเข้มผิวด้านล่างของเรซินคอมโพสิตแตกต่างกัน ซึ่งคาดว่าเกิดจากวิธีการวิจัยที่แตกต่างกัน โดยการวิจัยนี้เลือกการฉายแสงให้กับชิ้นงานเรซินคอมโพสิตแล้วนำไป

วัดความเข้มผิวแทนการใช้เซนเซอร์ในการวัดค่าพลังงานแสง โดยเมื่อมีการฉายแสงไปยังวัสดุเรซินคอมโพสิต แสงจะมีการสะท้อน ดูดกลืน และหักเหก่อนที่จะไปถึงยังผิวด้านล่างของชิ้นงานเรซินคอมโพสิตแล้วทำให้ชิ้นงานเรซินคอมโพสิตเกิดการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งมีความแตกต่างกับการที่แสงตกกระทบบที่เซนเซอร์รับแสงโดยตรง รวมทั้งการเอียงมุมในการฉายแสงในการวิจัยนี้มีการควบคุมระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางบริเวณปลายเครื่องฉายแสงถึงบริเวณกึ่งกลางผิวขึ้นตัวอย่าง 3 มิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อมีการเอียงมุมในการฉายแสงพบว่ามีระยะห่างระหว่างปลายแท่งแก้วนำแสงกับผิววัสดุเรซินคอมโพสิตในแต่ละบริเวณจะมีระยะทางไม่เท่ากัน บางบริเวณจะห่างมากขึ้น และบางบริเวณห่างน้อยลง ซึ่งระยะห่างที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นนี้มีผลโดยตรงต่อความเข้มแสงที่วัสดุได้รับในแต่ละบริเวณด้วย

หลอดแอลอีดีที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องฉายแสงในการวิจัยนี้มีความแตกต่างกัน โดยเครื่องฉายแสงบลูเฟสเป็นเครื่องฉายแสงแบบหลายความยาวคลื่น (polywave) ที่ประกอบด้วยหลอดแอลอีดีแบบเซอร์เฟสเมาท์จำนวน 4 หลอด แบ่งเป็นหลอดแอลอีดีหลักที่ให้แสงความยาวคลื่นสูงสุดที่ 470 นาโนเมตร จำนวน 3 หลอด และหลอดแอลอีดีเสริมที่ให้แสงความยาวคลื่นสูงสุดที่ 410 นาโนเมตรจำนวน 1 หลอด ซึ่งให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงที่กว้างตั้งแต่ 385-515 นาโนเมตร ทำให้ครอบคลุมสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงหลายตัว ส่วนเครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 และเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าได้นำหลอดแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นเดียวให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 430-490 นาโนเมตร โดยเครื่องฉายแสงซีราล็กซ์ 2 เลือกใช้หลอดแอลอีดีแบบเซอร์เฟสเมาท์ ส่วนเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าได้เลือกใช้หลอดแอลอีดีชิปออนบอร์ดที่มีการนำเอาชิปแอลอีดีจำนวน 9 ตัวมารวมกันไว้ในแผ่นเดียวเพื่อเพิ่มค่าความสว่างและสามารถกระจายแสงได้ดี ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นแสงที่ได้นั้นจะครอบคลุมสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงได้น้อยกว่าเครื่องฉายแสงบลูเฟส ทำให้มีปัญหาในการฉายแสงเรซินคอมโพสิตที่มีสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงบางตัว เช่น ลูซีริน ทีพีโอ (Lucirin TPO)⁽²⁵⁾ ที่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้เรซินคอมโพสิตที่ใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงเป็นแคมฟอร์ควิโนน ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ซึ่งเครื่องฉายแสงที่ใช้ในการวิจัยนี้ทั้งหมดให้แสง

ในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะกับแคมฟอรีควิโนน

แท่งแก้วนำแสงของเครื่องฉายแสงที่ใช้ในการวิจัยนี้มีขนาดและลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อแสงที่ได้ โดยแสงจากเครื่องฉายแสงเครื่องเดียวกันแต่มีขนาดหน้าตัดของปลายแท่งแก้วนำแสงต่างกันทำให้ได้ค่าความเข้มแสงต่างกัน โดยความเข้มแสงจะแปรผกผันกับขนาดหน้าตัดของปลายแท่งแก้วนำแสง หน้าตัดของปลายแท่งแก้วนำแสงที่มีขนาดเล็กจะให้แสงที่มีความเข้มแสงสูงกว่าหน้าตัดขนาดใหญ่^(26,27) แท่งแก้วนำแสงที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่เหมาะสำหรับโพรงฟันขนาดใหญ่ หรือบริเวณที่ต้องการฉายแสงเป็นบริเวณกว้างทำให้ครอบคลุมบริเวณที่ฉายได้ดี แต่ให้ความเข้มแสงน้อย แท่งแก้วนำแสงแบบปกติจะประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงขนาดเท่าๆ กันตลอดความยาวของแท่งแก้วนำแสง ส่วนแท่งแก้วนำแสงปลายเทอร์โบ (turbo tip) เป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ปลายแท่งแก้วนำแสง โดยมีขนาดเส้นใยแก้ว

นำแสงที่ปลายด้านนอกเล็กกว่าด้านใน เพื่อประโยชน์ในการรวมแสง ส่งผลทำให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าแสงจากหลอดนำแสงปลายเทอร์โบจะให้ลักษณะลำแสงที่ไม่มีความกลมกลืนมากกว่าแท่งแก้วนำแสงแบบปกติ โดยมีความเข้มแสงสูงมากที่บริเวณกึ่งกลางแท่งแก้วนำแสง และมีความเข้มแสงลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเพิ่มขึ้น⁽²⁸⁾ ดังนั้นการออกแบบแท่งแก้วนำแสงของเครื่องฉายแสงบลูเฟสที่มีแท่งแก้วนำแสงแบบปกติและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ที่สุดส่งผลแสงที่ได้มีความกลมกลืนและสามารถฉายแสงได้ครอบคลุมวัสดุที่มีขนาดใหญ่ได้ดี อย่างไรก็ตามถึงแม้เครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าได้เลือกใช้แท่งแก้วนำแสงปลายเทอร์โบและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้งานร่วมกับหลอดแอลอีดีซีปออนบอร์ด ซึ่งส่งผลให้เครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าให้ค่าความเข้มผิวที่สูงและมีอัตราส่วนความเข้มผิวด้านล่างต่อบนมากกว่าร้อยละ 80 ในทุกมุมที่ฉายแสง

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หน่วยเป็นมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

Table 2 Means and standard deviations of light intensity for the curing devices under study

Light cure unit	ความเข้มแสง : Mean (SD)
SangSeeFah	570 (0.0)
Celalux2	624 (0.0)
Bluephase	507 (0.0)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาค ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอัตราส่วนความแข็งผิวด้านล่างส่วนด้านบน ในทุกกลุ่มทดสอบ

Table 3 Means and standard deviations of microhardness groups and bottom to top ratio using means of microhardness in all experimental groups

เครื่องฉายแสง	มุม	Top Surface: Mean (SD)	Bottom Surface: Mean (SD)	Hardness Ratio
SangSeeFah	90 องศา	78.66 (5.61) ^a	67.67 (5.78) ^e	0.86
	80 องศา	81.34 (3.65) ^a	65.40 (9.03) ^e	0.80
	70 องศา	75.32 (5.39) ^a	64.93 (5.89) ^e	0.86
Celalux2	90 องศา	72.11 (4.66) ^b	53.82 (7.29) ^f	0.75
	80 องศา	66.77 (7.67) ^c	49.19 (7.01) ^f	0.74
	70 องศา	63.98 (3.73) ^d	50.42 (4.60) ^f	0.78
Bluephase	90 องศา	78.86 (4.27) ^a	73.36 (4.77) ^g	0.93
	80 องศา	82.82 (4.39) ^a	74.48 (6.63) ^g	0.90
	70 องศา	82.41 (4.58) ^a	77.53 (8.32) ^g	0.94

ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Significant difference is represented by different letters (p<0.05)

แม้ว่าเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าจะให้ผลการทดลองโดยรวมเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังคงให้ค่าความแข็งผิวด้านล่างของเรซินคอมโพสิตต่ำกว่าเครื่องฉายแสงบลูเฟส ในทุกมุมการฉายแสง ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเกิดจากทิศทางและการกระจายของแสงที่ปล่อยออกมา ทำให้เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงานเรซินคอมโพสิตจะมีการสะท้อนและหักเหที่ไม่ดีเท่าแสงที่ได้จากเครื่องฉายแสงบลูเฟส รวมทั้งมีข้อด้อยในเรื่องช่วงความยาวคลื่นที่แคบกว่าเครื่องฉายแสงบลูเฟส ทำให้มีปัญหาในการฉายแสงเรซินคอมโพสิตที่มีสารเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยแสงบางตัวที่ไม่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่เครื่องสามารถให้ได้ ดังนั้นผลการวิจัยที่ได้นี้จะ เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องฉายแสงแสงสีฟ้าให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

สรุปผลการทดลอง

การเอียงมุมฉายแสงที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตด้านบนลดลงเฉพาะเครื่องฉายแสงซีร่าลักซ์ 2 และเครื่องฉายแสงต่างผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการฉายแสงเพื่อให้วัสดุเรซินคอมโพสิตเกิดการเกิดพอลิเมอร์แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

1. Giorgi MC, Lima DA, Marchi GM, Ambrosano GM, Aguiar FH. Influence of softening test and light-activation protocols on resin composite polymer structure. *Eur J Dent* 2014; 8(1): 9-14.
2. Bakkal M, Yılmaz B, Durmus A, Durmus Z, Ozalp S. Polymerization characteristics of colored compomers cured with different LED units. *J Appl Biomater Funct Mater* 2019; 17(1): doi: 10.1177/2280800019827805.
3. Jiménez-Planas A, Martín J, Abalos C, Llamas R. Developments in polymerization lamps. *Quintessence Int* 2008; 39(2): 74-84.
4. Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J* 1997; 16(1): 60-73.

5. Taira M, Urabe H, Hirose T, Wakasa K, Yamaki M. Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composite resins. *J Dent Res* 1988; 67(1): 24-28.
6. Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent* 2002; 14(5): 286-295.
7. Price RB, Felix CA, Andreou P. Evaluation of a second-generation LED curing light. *J Can Dent Assoc* 2003; 69(10): 666.
8. Campregheer UB, Samuel SM, Fortes CB, Medina AD, Collares FM, Ogliari FA. Effectiveness of second-generation light-emitting diode (LED) light curing units. *J Contemp Dent Pract* 2007; 8(2): 35-42.
9. Owens BM, Rodriguez KH. Radiometric and spectrophotometric analysis of third generation light-emitting diode (LED) light-curing units. *J Contemp Dent Pract* 2007; 8(2): 43-51.
10. Price RB, Felix CA, Andreou P. Evaluation of a dual peak third generation LED curing light. *Compend Contin Educ Dent* 2005; 26(5): 331-338.
11. Konerding KL, Heyder M, Kranz S, et al. Study of energy transfer by different light curing units into a class III restoration as a function of tilt angle and distance, using a MARC Patient Simulator (PS). *Dent Mater* 2016; 32(5): 676-686.
12. Nozu S, Matsuda T, Iwata N, Yoshikawa K, Yamamoto K. Influence of light curing energy on dentin bond strength. *Jpn J Conserv Dent* 2015; 58: 446-455.
13. Lynch F. COB vs. POB, an Alternate LED Directional Point Light Source. Permlighttechnologies.tech; 2017 Available from: http://permlight.com/sites/default/files/White%20Paper%20COB%20vs%20POB%201.3.17_0.pdf

14. Wang L, D'Alpino PH, Lopes LG, Pereira C. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *J Appl Oral Sci* 2003; 11(3): 162-167.
15. Poskus LT, Placido E, Cardoso PE. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations. *Dent Mater* 2004; 20(8): 726-732.
16. Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B, Kostylev I, Fahey J. Correlation between the beam profile from a curing light and the microhardness of four resins. *Dent Mater* 2014; 30(12): 1345-1357.
17. Catelan A, de Araujo LS, da Silveira BC, et al. Impact of the distance of light curing on the degree of conversion and microhardness of a composite resin. *Acta Odontol Scand* 2015; 73(4): 298-301.
18. De Araújo CS, Schein MT, Zanchi CH, Rodrigues SA Jr., Demarco FF. Composite resin microhardness: the influence of light curing method, composite shade, and depth of cure. *J Contemp Dent Pract* 2008; 9(4): 43-50.
19. Hegde V, Jadhav S, Aher GB. A clinical survey of the output intensity of 200 light curing units in dental offices across Maharashtra. *J Conserv Dent* 2009; 12(3): 105-108.
20. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994; 19(1): 26-32.
21. Shortall AC, Harrington E, Wilson HJ. Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers. *J Dent* 1995; 23(4): 227-232.
22. McCabe JF, Carrick TE. Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 1989; 68(11): 1534-1539.
23. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater* 2012; 28(5): 521-528.
24. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004; 29(6): 698-704.
25. Cardoso KA, Zarpellon DC, Madruga CF, Rodrigues JA, Arrais CA. Effects of radiant exposure values using second and third generation light curing units on the degree of conversion of a lucirin-based resin composite. *J Appl Oral Sci* 2017; 25(2): 140-146.
26. Leonard DL, Charlton DG, Hilton TJ. Effect of curing-tip diameter on the accuracy of dental radiometers. *Oper Dent* 1999; 24(1): 31-37.
27. Nitta K. Effect of light guide tip diameter of LED-light curing unit on polymerization of light-cured composites. *Dent Mater* 2005; 21(3): 217-223.
28. Harrington L, Wilson HJ. Determination of radiation energy emitted by light activation units. *J Oral Rehabil* 1995; 22(5): 377-385.



Faculty of Dentistry
Chiang Mai University

Cleft Center

Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University



From Cleft to **Sm:)e**

by our hearts



*For more information or donation please contact
Department of Orthodontics and Pedodontics
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
Tel. 053-944464-65*