



บทความวิชาการ  
Original Article

# การหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยวิธีไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์สเปคโตรสโคปี

ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล ท.บ., วท.ม.<sup>1</sup>

สุนิตา ทิพย์มณฑา<sup>2</sup>

สรุพาเพ็ญ ภูเบศรธรณีวิชัย<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup>นิติศตวรรษบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์** เพื่อหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยวิธีไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์สเปคโตรสโคปี

**วัสดุและวิธีการ** ทดสอบหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของเดือยฟันเสริมเส้นใยด้วยวิธีสเปคโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์โดยใช้อินฟราเรดช่วงกลาง  $4000-600$  เซนติเมตร<sup>-1</sup> พื้นที่สัมผัสของผลึกเจอร์เมเนียมกับเดือยฟันเสริมเส้นใยเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $100$  ไมโครเมตร ความลึกของอินฟราเรดที่ส่องผ่านพื้นผิวเดือยฟัน  $1$  ไมโครเมตร บันทึกผลเป็นกราฟระหว่างค่าเลขคลื่น และการส่งผ่านของรังสีวิเคราะห์หาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกจากแถบสเปคตรัมเทียบกับค่าเลขคลื่นอ้างอิง

**ผลการศึกษา** พื้นผิวของเดือยฟันเอพาร์ซีโพลเทคพลัส และไฟบริเคิลียร์เทเปอร์โพลที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกโดยให้แถบสเปคตรัมที่  $1638-1636$  และ  $1637-1632$  เซนติเมตร<sup>-1</sup> โดยไม่พบแถบสเปคตรัมนี้บนพื้นผิวเดือยฟันไรโอเอกซ์ไฟเบอร์โพลท์ และดีทีไลท์โพลท์

**สรุป** เดือยฟันเอพาร์ซีโพลเทคพลัส และไฟบริเคิลียร์เทเปอร์โพลท์มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของเดือยฟัน

(วทันต จุฬาฯ 2558;38:129-140)

**คำสำคัญ:** เดือยฟันเสริมเส้นใย; พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติก; พื้นผิว; ไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์; สเปคโตรสโคปี

ผู้รับผิดชอบบทความ ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล siriporr@hotmail.com

## บทนำ

ปัจจุบันนิยมบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เช่น เส้นใยแก้ว หรือ ควอตซ์ เนื่องจากให้ความสวยงาม มีสีคล้ายกับฟัน มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันมากกว่าเดือยฟันโลหะ ทำให้เกิดการกระจายแรงไปที่รากฟันได้ดี<sup>1</sup> ลดโอกาสการเกิดรากฟันแตก และมีโอกาสเกิดความล้มเหลวชนิดที่บูรณะได้มากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันโลหะหล่อ<sup>2</sup> สามารถรีดออกได้ง่ายกว่าเดือยฟันโลหะและเดือยฟันเซรามิก จึงลดโอกาสการสูญเสียเนื้อฟันขณะกรอหรือเดือยฟันความสำเร็จของการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย คือ การที่เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย แกนฟัน และผนังคลองรากฟันมีการยึดติดเป็นหนึ่งเดียวกันเป็นโมโนบล็อก (monobloc)<sup>3</sup> อย่างไรก็ตามยังคงพบความล้มเหลวของการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยจากปัญหาการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิต<sup>4-6</sup> เนื่องจากเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟัน เช่น อี-พอกซีเรซิน (epoxy resin)<sup>7</sup> หรือเมทาคริเลตเรซิน (methacrylate resin)<sup>8</sup> มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์สูง (high degree of conversion) มีอัตราการเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลสูง (high crosslink) ทำให้ไม่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติก (aliphatic C=C bond) เหลือที่จะทำปฏิกิริยาเคมีกับเมทาคริเลตที่เป็นส่วนประกอบในเรซินคอมโพสิตและเรซินซีเมนต์<sup>7-9</sup> เนื่องจากการขึ้นรูปเดือยฟันภายใต้ความร้อนและสุญญากาศ ทำให้ไม่มีชั้นออกซิเจนอินฮิบิชั่น (O<sub>2</sub> inhibition layer)<sup>10</sup> สอดคล้องกับหลายการศึกษาซึ่งพบว่าเดือยฟันยี่ห้อเอฟอาร์ซีโพสเทคพลัส (FRC Postec Plus®)<sup>11-13</sup> และยี่ห้อดีทีไลท์โพสท์ (D.T. Light-Post®)<sup>14</sup> ที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันให้ค่าแรงการยึดติดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตน้อยกว่าเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟันก่อนการยึด จึงมีการศึกษาหาวิธีปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟันด้วยสารเคมีเพื่อให้มีการละลายเรซินเมทริกซ์ออกบางส่วน ทำให้ผิวเดือยฟันขรุขระเพิ่มการยึดติดทางกล และเผยถึงชั้นเส้นใยแก้วหรือเส้นใยควอตซ์ซึ่งมีหมู่ซิลิลคอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้สามารถใช้สารไฮเลนาทที่เดือยฟันหลังผ่านการปรับสภาพผิวโดยหมู่ไฮลันอลในไฮเลนาทจับกับซิลิลคอนไดออกไซด์ของเดือย

ฟันเกิดเป็นพันธะไฮลอกเซนเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี<sup>15-17</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Nagas และคณะ ปี 2011<sup>14</sup> พบว่าการไม่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันยี่ห้อเอฟอาร์ซีโพสเทคพลัสให้ค่าแรงการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่ต่างกับการปรับสภาพผิวเดือยฟัน และเนื่องจากในกระบวนการผลิตเดือยฟันเส้นใยแก้วหรือควอตซ์จะถูกเคลือบด้วยไฮเลนาทก่อนทำการยึดกับเรซินเมทริกซ์<sup>18-19</sup> ดังนั้นพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยอาจมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่มาจากหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์ (organic functional group) ของไฮเลนาทอยู่

การตรวจหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกในเมทาคริเลตพอลิเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรมมีหลายวิธี ได้แก่ อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี รามานสเปคโตรสโคปี (Raman-spectroscopy) เอ็นเอ็มอาร์สเปคโตรสโคปี (NMR: nuclear magnetic resonance) เป็นต้น<sup>20</sup> วิธีรามานสเปคโตรสโคปีอาศัยหลักการกระเจิงของรังสี สามารถใช้สารตัวอย่างรูปทรงหรือขนาดใดๆ ก็ได้ ใช้วัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นหรือปริมาณน้อยได้ ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่ละลายในน้ำได้ เนื่องจากโมเลกุลน้ำซึ่งมีสภาพขั้วสูงจะไม่เกิดสัญญาณรบกวนสเปคตรัมรามาน<sup>21</sup> แต่สัญญาณไม่ค่อยชัดเจน โอกาสเกิดสัญญาณรบกวนสูง ต้องใช้เวลาวิเคราะห์นาน และควรจะใช้วิเคราะห์ซ้ำเสมอ<sup>22</sup> ส่วนวิธีเอ็นเอ็มอาร์สเปคโตรสโคปีต้องเตรียมสารตัวอย่างในรูปของสารละลายเจือจางทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หมู่อินทรีย์ที่ต้องการบริเวณพื้นผิวได้

วิธีอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีแบบเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ (ATR-FTIR spectroscopy: Attenuated Total Reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy) อาศัยหลักการคือ การที่สารจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความถี่ใดนั้น ความถี่ที่ถูกดูดกลืนจะต้องตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะเท่านั้น จึงสามารถใช้ตรวจหาพันธะที่สนใจเชิงคุณภาพในโมเลกุลของสารที่ต้องการศึกษาได้ วิธีการนี้ไม่ต้องเตรียมชิ้นงานตัวอย่างซึ่งจะเป็นการทำลายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการศึกษา<sup>23</sup> ใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เครื่องมือแบบดั้งเดิมได้สัญญาณที่ชัดเจนความถี่ที่ถูกต้องแม่นยำ<sup>24-25</sup> แต่วิธีอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์เป็นเทคนิคหนึ่งของอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีแบบเอทีอาร์เอฟทีไออาร์โดยการจัดวางตำแหน่งกระจกให้เกิดการ

สะท้อนและชนิดของผลึกที่ต่างกัน ให้ความละเอียดสูงกว่าแบบเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ธรรมดาซึ่งจะใช้ในกรณีที่ต้องการขอบเขตการมองเห็น (field of view) กว้าง<sup>26</sup> วิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์จึงเหมาะกับการศึกษาชิ้นตัวอย่างขนาดเล็กนี้โดยแถบสเปกตรัมแสดงพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกของหมู่เมทาคริเลตจะอยู่ในช่วงความถี่ 1640-1630 เซนติเมตร<sup>-1,27-29</sup> จากปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนตัวอย่างคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่อาจหลงเหลือบนพื้นผิวของตัวอย่าง

การศึกษานี้จึงมุ่งตรวจหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของตัวอย่างคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยสเปกโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์

### วัสดุและวิธีการ

นำตัวอย่างคอมโพสิตเสริมเส้นใย 4 ยี่ห้อซึ่งมีรูปร่างขนาดที่ส่วนต้นและทรงสอบที่ปลายตัวอย่าง ยี่ห้อละ 2 แท่ง ซึ่งมีส่วนประกอบ ขนาด และรูปร่างดังตารางที่ 1 นำไปทดสอบด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ที่ตำแหน่งห่างจากปลายทั้งสองข้างของตัวอย่าง 4 มิลลิเมตร แท่งละ 2 ตำแหน่งดังรูปที่ 1

วางตัวอย่างบริเวณที่ต้องการทดสอบหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกในหมู่เมทาคริเลตบนแท่นวางขึ้นทดสอบ การทดสอบด้วยวิธีสเปกโตรสโคปีชนิดไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ในการศึกษานี้ใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ยี่ห้อเพอร์คิน เอลเมอร์ รุ่น สเปกตรัม สปอตไลท์ 300 (Spectrum Spotlight 300, Perkin Elmer, USA) เทคนิคไมโคร-

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคอมโพสิตเสริมเส้นใยในการศึกษานี้

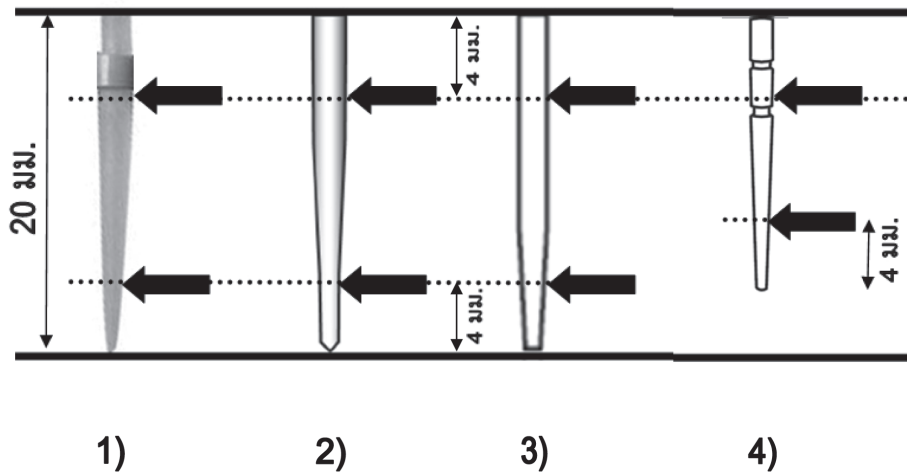
Table 1 Fiber reinforced composite posts in this study

Brand	Length (mm)	Diameter coronal/apical (mm)	Composition	Manufacturer/Lot no
RelyX™ Fiber Post no. 3	20	1.9/0.9	epoxy resin glass fiber zirconia filler	3M ESPE, St. Paul, USA/Lot no. 191271205
D.T. Light Post® no. 2	20	1.8/1	epoxy resin quartz fiber	RTD, St. Egrevé, France/Lot no. 125301001
FRC Postec Plus® no. 3	20	2/1	UDMA TEGDMA glass fiber Ytterbium trifluoride	IvoclarVivadent, Schaan, Liechtenstein Lot no. #572800AN
FibreKleer® Tapered Post 1.5 mm	16	1.5/0.9	Bis-GMA glass fiber	Pentron Clinical, Wallingford, USA Lot no. 4867299

UDMA: urethane dimethacrylate

TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate

Bis-GMA: dimethacrylate 2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloxypropoxy) phenyl] propane



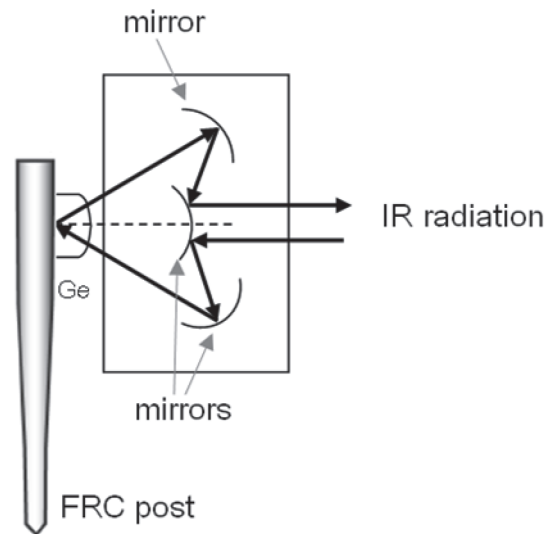
รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบของเดือยฟัน; 1) รีเลย์เอกซ์ไฟเบอร์โพสต์ 2) ดีทีไลท์โพสต์ 3) เอฟอาร์ซีโพสเทคพลัส 4) ไฟบริเคิลียร์เทเปอร์โพสต์

Fig. 1 Experimental areas of post; 1) RelyX™ Fiber Post 2) D.T. Light-Post® 3) FRC Postec Plus® 4) FibreKleer® Tapered Post

แอทเทนนูเอตเต็ด โททอล รีเฟลคแทนซ์ (Micro-Attenuated Total Reflectance: Micro-ATR) (อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM: E334-01 standard practice for general techniques of infrared microanalysis และ ASTM E573-01 standard practices for Internal reflection spectroscopy) กำหนดให้รังสีผ่านผลึกเจอร์เมเนียมดังรูปที่ 2 ใช้แหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (4000-600 เซนติเมตร<sup>-1</sup>) ความละเอียด 4 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ตัวตรวจรับสัญญาณคือ เมอร์คิวรี-แคดเมียม-เทลลูไรด์ (mercury-cadmium-telluride: MCT) พื้นที่สัมผัสของผลึกกับชิ้นงานตัวอย่างมีรูปร่างเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 ไมโครเมตร กำหนดให้รังสีทะลุผ่านไม่เกิน 1 ไมโครเมตร จากผิวของชิ้นงาน บันทึกลักษณะสเปกตรัมของเดือยฟันบริเวณที่ทดสอบเป็นกราฟระหว่างเลขคลื่น (wavenumber) หรือความถี่ หน่วยเป็น เซนติเมตร<sup>-1</sup> และค่าการส่งผ่านของรังสี (transmittance) หน่วยเป็นร้อยละ ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านเดือยฟันและความเข้มของรังสีที่ตกกระทบเดือยฟัน จากนั้นวิเคราะห์หาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติก และพันธะอื่นที่อาจส่งผลต่อการยึดเดือยฟันกับสารเรซินจากแถบสเปกตรัมที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ค่าต่างๆ เทียบกับค่าเลขคลื่นอ้างอิงของค่าการส่งผ่านของรังสีอินฟราเรดของพันธะต่างๆ

### ผลการศึกษา

การทดสอบหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติก ในหมู่เมทาคริลเลทบนพื้นผิวของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยสเปกโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ โดยใช้รังสีอินฟราเรดช่วงกลาง (4000-600 เซนติเมตร<sup>-1</sup>) ดังรูปที่ 3-4 และตารางที่ 2 พบว่าสเปกตรัมของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่วนต้นและส่วนปลายของเดือยฟันแต่ละยี่ห้อ ไม่มีความแตกต่างกัน ตรวจพบแถบที่มีความเข้มต่ำที่เลขคลื่นระหว่าง 1638-1636 และ 1637-1632 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ของเดือยฟันยี่ห้อเอฟอาร์ซีโพสเทคพลัสและไฟบริเคิลียร์เทเปอร์โพสต์ ตามลำดับ ในขณะที่เดือยฟันยี่ห้อรีเลย์เอกซ์ไฟเบอร์โพสต์และดีทีไลท์โพสต์ ไม่พบแถบสเปกตรัมที่บริเวณดังกล่าวแต่พบวงแหวนอีพอกไซด์ (epoxide ring) เดือยทั้ง 4 ยี่ห้อพบหมู่ซิลิลอีเทอร์ (Si-O-R : silylether) หมู่ซิลอกเซน (Si-O-Si : siloxane) หมู่ซิลานอล (Si-OH : silanol) หมู่ไฮดรอกซิล (OH : hydroxyl) และหมู่เอมีน (NH : amine) นอกจากนี้ยังพบหมู่เอมีนที่พื้นผิวเดือยฟันทุกยี่ห้อ ยกเว้นเดือยฟันยี่ห้อไฟบริเคิลียร์-เทเปอร์โพสต์



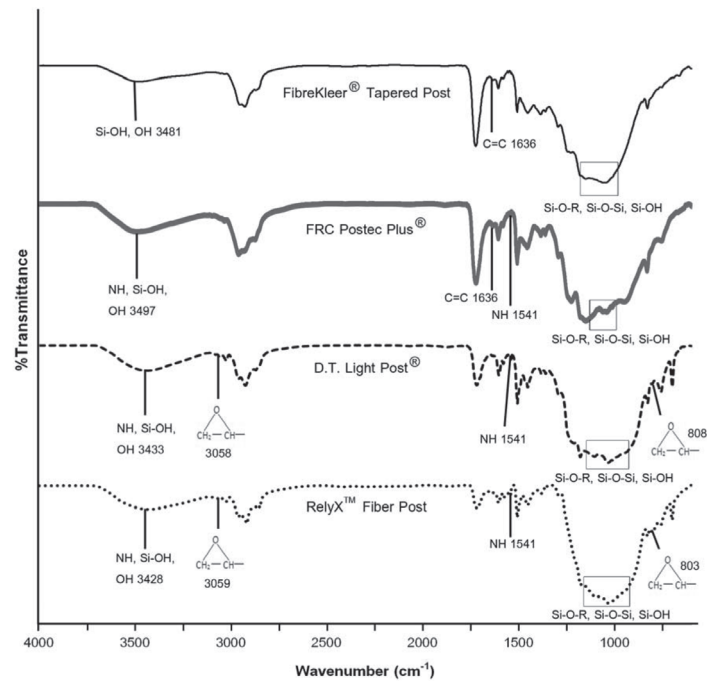
รูปที่ 2 การทดสอบสเปกโตรสโคปีชนิดไม่โครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์โดยใช้ผลึกเจอร์เมเนียม

Fig. 2 Micro ATR-FTIR spectroscopy using germanium crystal

## วิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกในเดือยพันธ์ที่มีขายในประเทศไทยที่มีรูปทรงสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน มีองค์ประกอบของเรซินเมทริกซ์ที่แตกต่างกันได้แก่ อีพอกซีเรซิน และเมทาคริเลตเรซิน เช่น บิสฟีเอ็มเอและยูดีเอ็มเอ บริเวณที่ทดสอบ ได้แก่ ส่วนต้นและส่วนปลายของเดือยพันธ์ที่มีผิวเรียบ เพื่อให้พันธะของเดือยพันธ์แนบกับผลึกเจอร์เมเนียมของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบมากที่สุด พบว่าสเปกตรัมของเดือยพันธ์คอมโพสิตเสริมเส้นใยส่วนต้นและส่วนปลายของเดือยพันธ์แต่ละยี่ห้อ ไม่มีความแตกต่างกันโดยตรวจพบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พันธะของเดือยพันธ์ยี่ห้อเอพาร์ซีโพสเทคพลัสและไฟริ-เคลียร์เทเปอร์โพสท์ อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ของส่วนเรซินเมทริกซ์ของเดือยพันธ์ทั้งสองชนิดได้แก่ ไดเมทาคริเลตเรซินและบิสฟีเอ็มเอตามลำดับ ซึ่งไดเมทาคริเลตเรซินและบิสฟีเอ็มเอเป็นอนุพันธ์ของหมู่เมทาคริเลต ทำให้หลงเหลือพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พันธะของเดือยพันธ์ กระบวนการผลิตเดือยพันธ์จะผลิตภายใต้ภาวะความร้อนและสุญญากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์สูงทำให้ไม่มีชั้นออกซิเจนอินฮิบิชั่น และไม่หลงเหลืออนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยาต่อกับสารเรซินในแกนพันธะเรซินคอมโพสิตและเรซินซีเมนต์<sup>10</sup>

ดังนั้นจึงไม่เกิดการเชื่อมต่องานเคมีกับเมทาคริเลตเรซินในเรซินซีเมนต์<sup>15,30</sup> อย่างไรก็ตาม Du และคณะ ปี 2008<sup>29</sup> พบว่าอนุมูลในการบ่มตัวที่สูงและเวลาในการบ่มตัวที่มากทำให้มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์ชนิดยูรีเทนไดเมทาคริเลตสูงขึ้น โดยเฉพาะระยะแรกของการบ่มตัว เพราะอนุมูลที่สูงทำให้โมโนเมอร์มีพลังงานในการเคลื่อนที่ไปทำปฏิกิริยามาก ต่อมาอัตราการเกิดพอลิเมอร์จะช้าลงเนื่องจากเกิดเป็นพอลิเมอร์ซึ่งมีการเชื่อมขวางมากขึ้นจนอยู่ในภาวะเจล ทำให้โมโนเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาเคลื่อนที่ได้น้อยลง และหลงเหลือเป็นโมโนเมอร์อิสระ (free monomer) หรือกลุ่มของโมโนเมอร์ขนาดเล็กตกค้างในพอลิเมอร์ โดยพบว่าอนุมูลที่สูงถึง 140 องศาเซลเซียสและเวลาในการบ่มตัวที่มากถึง 3 ชั่วโมงทำให้เกิดอัตราการเกิดพอลิเมอร์เพียงร้อยละ 85 สอดคล้องกับ Kumbuloglu และคณะ ปี 2004<sup>31</sup> ซึ่งพบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบเป็น บิสฟีเอ็มเอร่วมกับทีอีจีดีเอ็มเอ มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์ร้อยละ 81 เท่านั้น พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พบบนเดือยพันธ์ที่มีเรซินเมทริกซ์เป็นเมทาคริเลตสามารถเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของเรซินซีเมนต์หรือแกนพันธะเรซินคอมโพสิตซึ่งมีส่วนประกอบเป็นเมทาคริเลตคล้ายกัน<sup>32</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Nagas และคณะปี 2011<sup>33</sup> และ Yavirach และคณะปี 2009<sup>32</sup> ซึ่งพบว่าค่าการไม่ปรับสภาพพันธะของเดือยพันธ์เอพาร์ซีโพสเทคพลัสให้ค่าแรงการยึดติดกับแกนพันธะเรซินคอมโพสิตไม่ต่างจากการปรับ



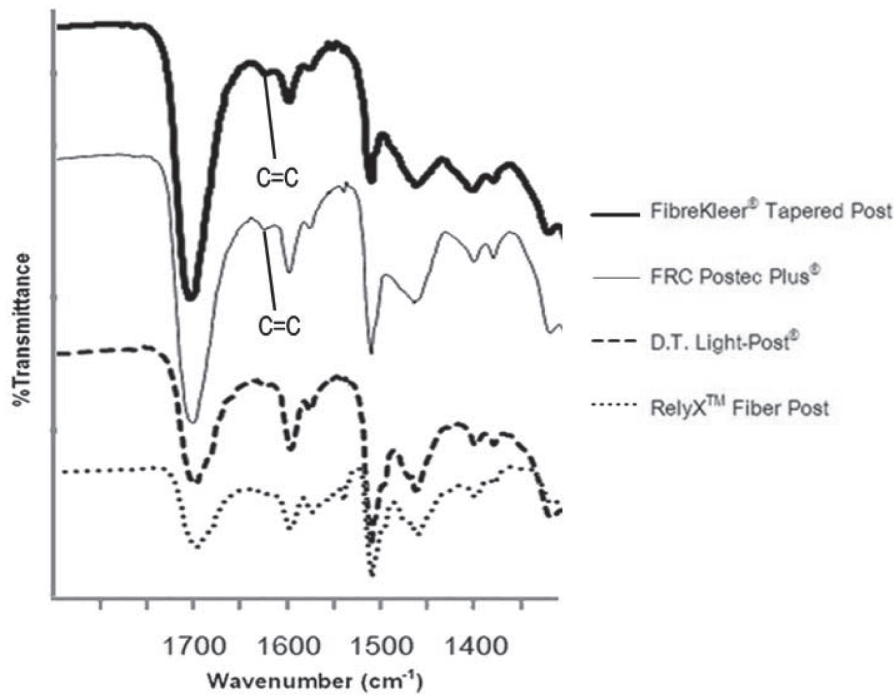
รูปที่ 3 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ บนพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยในการศึกษา

Fig. 3 Spectrum of functional groups on fiber post surface in this study

สภาพพื้นผิวของเดือยฟันด้วยการเป่าทรายหรือการแช่ในกรดกัดแก้ว แต่การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันที่ไทเทเนียมให้ค่าแรงการยึดติดมากกว่าการไม่ปรับสภาพ<sup>7</sup> จากการศึกษาของ Yavirach และคณะปี 2009<sup>32</sup> และ Rödiger และคณะปี 2010<sup>33</sup> พบว่าเดือยฟันที่มีเรซินเมทริกซ์เป็นชนิดเมทาคริเลตให้ความแข็งแรงยึดติดกับเรซินซีเมนต์หรือแกนพื้นเรซินคอมโพสิตมากกว่าเดือยฟันที่มีเรซินเมทริกซ์เป็นชนิดอีพอกซีเรซิน และการใช้ไซเลนทาที่เดือยฟันที่มีเรซินเมทริกซ์เป็นชนิดเมทาคริเลตให้ความแข็งแรงยึดติดกับเรซินซีเมนต์หรือแกนพื้นเรซินคอมโพสิตมากกว่าเดือยฟันที่มีเรซินเมทริกซ์เป็นชนิดอีพอกซีเรซินอย่างมีนัยสำคัญ<sup>34-35</sup> เนื่องจากพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พบบนพื้นผิวเดือยฟันสามารถเกิดปฏิกิริยากับไซเลน<sup>36</sup> เช่น ไซเลนชนิดทรี-เอ็มพีเอส (3-methacryloxypropyltrimethoxysilane) ซึ่งมีหมู่เออร์แกนิกฟังก์ชันเป็นหมู่เมทาคริเลต สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์ (covalent) กับเมทาคริเลตเรซินได้<sup>37</sup> อย่างไรก็ตามพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พื้นผิวของเดือยฟันเอพอรัซโพส-เทคพลัสอาจมีปริมาณหลงเหลืออยู่น้อย ทำให้บางการศึกษาพบว่าค่าการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ของเดือยฟันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวน้อยกว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยการเป่าทราย<sup>12</sup> หรือกัดพื้นผิวของเดือยฟันด้วยสารเคมี<sup>13</sup>

นอกจากนี้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกที่พบอาจมาจากหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์ (organic functional group) ของไซเลนที่เคลือบเส้นใยก่อนยึดกับเรซินเมทริกซ์ชนิดไดเมทาคริเลตซึ่งจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ผ่านมาจะพบการเผยของเส้นใยที่พื้นผิวของเดือยฟันในบางตำแหน่ง<sup>12-13</sup> หรืออาจมาจากไซเลนที่ผู้ผลิตใช้เคลือบพื้นผิวเดือยฟันหลังการขึ้นรูปเดือยฟัน (presilanate) เช่น เดือยฟันยี่ห้อไฟริเคลียร์เทเปอร์โพสท์ ซึ่งไซเลนที่ใช้กับสารประเภทเมทาคริเลตเป็นชนิดทรี-เอ็มพีเอสซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่เมทาคริเลต<sup>36</sup> ซึ่งจะให้ลักษณะสเปกตรัมอินฟราเรดเช่นเดียวกับหมู่เมทาคริเลตในเรซินเมทริกซ์

เดือยฟันรีไลเอ็กซ์ไฟเบอร์โพสท์และดีทีไลท์โพสท์ตรวจไม่พบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกแต่พบแถบสเปกตรัมที่แสดงถึงวงแหวนออกซิเจน สอดคล้องกับส่วนประกอบของเดือยฟันทั้งสองชนิดซึ่งมีเรซินเมทริกซ์เป็นอีพอกซีเรซิน เกิดปฏิกิริยาด้วยการเปิดวงออกซิเรนเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์แบบแคทไอออนิกไม่ใช่จากอนุมูลอิสระ<sup>38-39</sup> และไซเลนที่ใช้สำหรับอีพอกซีเรซิน เช่น ทรีไกลซิโดกซี-โพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-glycidoxypropyltrimethoxysilane) ซึ่งไม่พบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล<sup>36</sup>



รูปที่ 4 สเปกตรัมบริเวณพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแต่ละยี่ห้อ

Fig. 4 Spectrum of aliphatic C=C areas on surface of each fiber post

เดือยทั้ง 4 ยี่ห้อพบหมู่ไฮดรอกซิลอีเทอร์ หมู่ไฮดรอกเซน หมู่ไซลานอล หมู่ไฮดรอกซิล เพราะเดือยฟันทั้งสี่ชนิดมีส่วนของเส้นใยเป็นเส้นใยแก้วและเส้นใยควอตซ์ ซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบในเส้นใย นอกจากนี้เส้นใยมักเคลือบด้วยไซเลนก่อนยึดกับเรซินเมทริกซ์ และจากการศึกษาด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเดือยฟันเสริมเส้นใยตามแนวยาวก่อนการปรับสภาพพื้นผิวของเดือยฟันพบเส้นใยตลอดความยาวเดือยฟันแม้จะมีเรซินเมทริกซ์ปกคลุมอยู่บ้าง<sup>12,35,40</sup> จึงสอดคล้องกับบางการศึกษาที่พบว่าการทำไซเลนที่เดือยฟันเมทาคริเลตและเดือยฟันอีพอกซีแล้วให้ความแข็งแรงยึดติดมากกว่าการไม่ทำไซเลน<sup>10,12,18,41</sup> และมากกว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที ในขณะที่บางการศึกษาพบว่าการทำไซเลนที่เดือยฟันไม่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดติดของเดือยฟัน<sup>10,15,16,20,34,42</sup>

นอกจากนี้ยังพบหมู่เอมีนที่พื้นผิวเดือยฟันทุกยี่ห้อ ยกเว้นเดือยฟันยี่ห้อไฟริเคิลียร์เทเปอร์โพสท์สำหรับหมู่เอมีนที่ตรวจพบบนเดือยฟันเอพาร์ซีโพสเทคพลัสเพราะเดือย

ชนิดนี้มีเรซินเมทริกซ์เป็นยูรีเทนไดเมทาคริเลตซึ่งมีหมู่เอมีนเป็นส่วนประกอบ ส่วนการพบหมู่เอมีนในเดือยฟันรีไลเอ็กซ์ไฟเบอร์โพสท์และดีทีไลท์โพสท์อาจเนื่องจากสารที่ทำให้หมู่อีพอกไซด์ในเรซินเมทริกซ์แข็งตัวเป็นสารกลุ่มเอมีน หรืออนุพันธ์ของเอมีน<sup>43</sup>

ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือเป็นการศึกษาหาพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกในเชิงคุณภาพที่บริเวณพื้นผิวของเดือยฟันซึ่งเป็นบริเวณสำคัญต่อการยึดติดกับสารเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิต ไม่ใช่การศึกษาในเชิงปริมาณและขั้นตอนการศึกษามีข้อควรระวังคือ ความชื้น ส่งผลให้การแปลวิเคราะห์ผลคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากสารประกอบน้ำจะแสดงแถบการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดใกล้เคียงบริเวณที่มีแถบการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกได้ จึงควรวิเคราะห์แถบสเปกตรัมด้วยความระมัดระวัง ซึ่งการศึกษานี้กำหนดให้นำเดือยออกจากหีบห่อที่บริษัทผู้ผลิตจัดเตรียมไว้ด้วยปากคีบ ดังนั้น หากเป็นการศึกษาในเชิงปริมาณอาจนำเดือยฟันทุกแท่งเข้าตู้อบเพื่อกำจัดความชื้นออกก่อน การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่อาจใช้ใน

ตารางที่ 2 เลขคลื่นของพันธะที่ตรวจพบบนแถบสเปกตรัมของเดือยฟันแต่ละชนิด

Table 2 Wavenumber of investigated bond/group on IR spectrum of each fiber post

Bond/Group	Reference <sup>25</sup> wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> ) of fiber post			
		RelyX <sup>TM</sup> Fiber Post	D.T. Light Post <sup>®</sup>	FRC Postec Plus <sup>®</sup> Post	FibreKleer <sup>®</sup> Tapered Post
Si-O-R	1110-1000	1107-1102	~1106	-	-
Si-O-Si	1090-1010	1013-1011	1016-1011	~1011	1067-1040
Si-OH	1040-1020	1039-1035	1039-1035	1042-1038	-
aliphatic C=C	1640-1630	-	-	1638-1636	1637-1632
NH (amine)	1650-1490	~1541	~1541	~1541	-
epoxide ring	3075-3030	~3059	~3059	-	-
	880-775	806-802	808-805		
Si-OH	3700-3200				
OH	3550-3230	3450-3411	3455-3428	3498-3444	3482-3334
NH	3500-3300				

Si-O-R: silylether, Si-O-Si: siloxane, Si-OH: silanol, OH: hydroxyl, NH: amine

การวิเคราะห์เหตุและผลของค่าการยึดติดของเดือยฟันเสริมเส้นใย และเป็นพื้นฐานในการเลือกใช้เดือยฟันแต่ละยี่ห้อที่มีส่วนประกอบพื้นฐานที่แตกต่างกัน

## สรุป

การศึกษาพื้นผิวของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขายในประเทศไทย 4 ยี่ห้อ ด้วยวิธีสเปกโตรสโคปีแบบไมโครเอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ พบว่าเดือยฟันยี่ห้อเอฟอาร์ซีโพสเทค พลัสและไฟบริเคิลียร์เทเปอร์โพสท์ พบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติกบนพื้นผิวของเดือยฟัน ในขณะที่เดือยฟันยี่ห้อริไลเอ็กซ์ไฟเบอร์โพสท์และดีทีไลท์โพสท์ ไม่พบพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนชนิดอะลิฟาติก

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนโครงการวิจัยทางทันตกรรมสำหรับนิสิตชั้นปีที่ 5 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หมายเลข 29/2013

## Reference

1. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. J Prosthet Dent. 2005;94:321-9.
2. Hayashi M, Takahashi Y, Imazato S, Ebisu S. Fracture resistance of pulpless teeth restored with post-cores and crowns. Dent Mater. 2006;22:477-85.



3. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent.* 2003;89:360-7.
4. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent.* 2004;32:443-50.
5. Naumann M, Blankenstein F, Dietrich T. Survival of glass fibre reinforced composite post restorations after 2 years. An observational clinical study. *J Dent.* 2005;33:305-12.
6. Ferrari M, Cagidiaco MC, Goracci C, Vichi A, Mason PN, Radovic I, Tay F. Long-term retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent.* 2007;20:287-91.
7. Radovic I, Mazzitelli C, Chieffi N, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches. *Eur J Oral Sci.* 2008;116:557-63.
8. Ferrari M, Goracci C, Sadek FT, Monticelli F, Tay FR. An investigation of the interfacial strengths of methacrylate resin-based glass fiber post-core buildups. *J Adhes Dent.* 2006;8:239-45.
9. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF, Vallittu PK. Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J.* 2005;38:46-51.
10. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater.* 2005;21:437-44.
11. Bitter K, Meyer-Luckel H, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM. Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts. *Am J Dent.* 2006;19:138-42.
12. Magni E, Mazzitelli C, Papacchini F, Radovic I, Goracci C, Coniglio I, Ferrari M. Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a microtensile bond strength test and an SEM investigation following different treatments of the post surface. *J Adhes Dent.* 2007;9:195-202.
13. Güler AU, Kurt M, Duran I, Uludamar A, Inan O. Effects of different acids and etching times on the bond strength of glass fiber-reinforced composite root canal posts to composite core material. *Quintessence Int.* 2012;43:e1-8.
14. Cekic-Nagas I, Sukuroglu E, Canay S. Does the surface treatment affect the bond strength of various fibre-post systems to resin-core materials? *J Dent.* 2011;39:171-9.
15. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater.* 2006;22:602-9.
16. Cheleux N, Sharrock P, Degrange M. Surface treatments on quartz fiber post: influence on adhesion and flexural properties. *Am J Dent.* 2007;20:375-9.
17. Shori D, Pandey S, Kubde R, Rathod Y, Atara R, Rathi S. To evaluate and compare the effect of different post surface treatments on the tensile bond strength between fiber posts and composite resin. *J Int Oral Health.* 2013;5:27-32.
18. Bitter K, Noetzel J, Neumann K, Kielbassa AM. Effect of silanization on bond strengths of fiber posts to various resin cements. *Quintessence int.* 2007;38:121-8.
19. Akgungor G, Akkayan B. Influence of dentin bonding agents and polymerization modes on the bond strength between translucent fiber posts and three dentin regions within a post space. *J Prosthet Dent.* 2006;95:368-78.

20. Moraes LG, Rocha RS, Menegazzo LM, de Araujo EB, Yukimito K, Moraes JC. Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites. *J appl oral sci.* 2008;16:145-9.
21. Miyazaki M, Onose H, Iida N, Kazama H. Determination of residual double bonds in resin-dentin interface by Raman spectroscopy. *Dent Mater.* 2003;19:245-51.
22. Adapa P, Karunakaran C, Tabil L, Schoenau G. Potential Applications of Infrared and Raman Spectromicroscopy for Agricultural Biomass. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1081. Vol. XI.* 2009.
23. Amornsit M. Principles and techniques of instrumental analysis spectroscopy. Bangkok: chuenpim 50, 2009:183-7.
24. Korte EH, Roseler A. Foundations and features of infrared reflection techniques. In: Schrader B, editor. *Infrared and raman spectroscopy: methods and applications.* Weinheim: VCH. 1995:572-602.
25. Wendl B, Droschl H, Kern W. A comparative study of polymerization lamps to determine the degree of cure of composites using infrared spectroscopy. *Eur J orthod.* 2004;26:545-51.
26. Kazarian SG, Chan KLA. Micro- and macro-attenuated total reflection fourier transform infrared spectroscopic imaging. *Appl Spectrosc.* 2010;64:135A-52A.
27. Socrates G. *Infrared and raman characteristic group frequencies: Tables and charts 3<sup>rd</sup> ed.* West Sussex: John Wiley & Sons, 2001:115-56.
28. Faria e Silva AL, Arias VG, Soares LE, Martin AA, Martins LR. Influence of fiber-post translucency on the degree of conversion of a dual-cured resin cement. *J Endod.* 2007;33:303-5.
29. Du M, Zheng Y. Degree of conversion and mechanical properties studies of UDMA based materials for producing dental posts. *Polymer Composites.* 2008;29:623-30.
30. Monticelli F, Osorio R, Toledano M, Goracci C, Tay FR, Ferrari M. Improving the quality of the quartz fiber postcore bond using sodium ethoxide etching and combined silane/adhesive coupling. *J Endod.* 2006;32:447-51.
31. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont.* 2004;17:357-63.
32. Yavirach P, Chaijareenont P, Boonyawan D, Pattamapun K, Tunma S, Takahashi H, Arksornnukit M. Effects of plasma treatment on the shear bond strength between fiber-reinforced composite posts and resin composite for core build-up. *Dent Mater J.* 2009;28:686-92.
33. Rödiger T, Nusime AK, Konietzschke F, Attin T. Effects of different luting agents on bond strengths of fiber-reinforced composite posts to root canal dentin. *J Adhes Dent.* 2010;12:197-205.
34. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Cury AH, Coniglio I, Vulicevic ZR, Garcia-Godoy F, Ferrari M. The effect of sandblasting on adhesion of a dual-cured resin composite to methacrylic fiber posts: microtensile bond strength and SEM evaluation. *J Dent.* 2007; 35:496-502.
35. Kim HD, Lee JH, Ahn KM, Kim HS, Cha HS. Effect of silane activation on shear bond strength of fiber-reinforced composite post to resin cement. *J Adv Prosthodont.* 2013;5:104-9.
36. Pape PG. Adhesion Promoters. In: Ebnesajjad S, editor. *Handbook of adhesives and surface preparation: Technology, applications and manufacturing.* Amsterdam: William Andrew/ Elsevier, 2011:369-84.

37. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater.* 2002;18:179-88.
38. Anusavice K. Resin-based composites In: Anusavice KJ, Shen C, Phillips RW, editors. *Phillips' science of dental materials.* 12<sup>th</sup> ed. St. Louis: Elsevier/Saunders, 2013; 275-306.
39. Rueggeberg FA. From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. *J Prosthet Dent.* 2002;87:364-79.
40. Arunpraditkul S, Boonsiri I, Yungyuen K, Boonumnuay K, Teekavanich C. Effect of surface treatments on surface morphology of quartz fiber post by chemical agents. *CU Dent J.* 2011;34:1-8.
41. Leme AA, Pinho AL, de Gonçalves L, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effects of silane application on luting fiber posts using self-adhesive resin cement. *J Adhes Dent.* 2013;15:269-74.
42. Mosharraf R, BaghaeiYazdi N. Comparative evaluation of effects of different surface treatment methods on bond strength between fiber post and composite core. *J Adv Prosthodont.* 2012;4:103-8.
43. Boyle MA, Martin CJ, Neuner JD. Volume 21 composites: Epoxy Resins. *ASM Handbook,* 2001:78-89.

# Determination of aliphatic C=C bonds on surfaces of FRC posts using microATR-FTIR spectroscopy

Siriporn Arunpraditkul D.D.S., M.Sc.<sup>1</sup>

Sunita Tipmonta<sup>2</sup>

Sarapen Phubetarcthavich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

<sup>2</sup>Ungraduate student, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

---

## Abstract

**Objective** The aim of the present study was to investigate aliphatic C=C bonds on surfaces of FRC posts by micro ATR-FTIR spectroscopy.

**Materials and methods** Fiber posts were determined aliphatic C=C bonds on post surface by micro ATR-FTIR spectroscopy using mid infrared ( $4000-600\text{ cm}^{-1}$ ). The contact area between germanium crystal and fiber post was  $100\text{ }\mu\text{m}$  in diameter circular shape. The spectrum was acquired at  $1\text{ }\mu\text{m}$  depth from post surface. Wavenumbers and transmittance were recorded in each fiber post. The aliphatic C=C bonds were analyzed from peaks of spectra compared with reference wavenumbers.

**Results** The peak height of aliphatic C=C bonds at  $1638-1636$  and  $1637-1632\text{ cm}^{-1}$  were investigated on post surface of FRC Postec Plus<sup>®</sup> and FibreKleer<sup>®</sup> Tapered post which these were not shown on surface of DT Light post<sup>®</sup> and RelyX<sup>TM</sup> fiber post.

**Conclusion** Aliphatic C=C bonds were present on surfaces of FRC Postec Plus<sup>®</sup> and FibreKleer<sup>®</sup> Tapered post.

(CU Dent J. 2015;38:129-140)

**Key words:** aliphatic C=C bond; fiber post; micro ATR-FTIR; spectroscopy; surface

---

**Correspondence** to Siriporn Arunpraditkul, siriporr@hotmail.com