

ความทึบรังสีเอกซ์ของเรซินซีเมนต์ชนิดใส 9 ผลิตภัณฑ์ และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

วิศรุต์ ประวิทย์ธรา* ดุ้ย ศรีอัมพร** อวิรุทธ์ กล้ายศิริ*** นิยม ชำรงคอนันต์สกุล****

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความทึบรังสีของของเรซินซีเมนต์ชนิดใส 9 ผลิตภัณฑ์กับซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 10 กลุ่ม ตามชนิดของซีเมนต์ ขึ้นรูปชิ้นทดสอบตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 10 ชิ้นต่อกลุ่ม นำตัวอย่างของแต่ละกลุ่มมาเรียงบนแผ่นเซนเซอร์ร่วมกับลิ้มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันไดเพื่อเป็นมาตรวัดฉายรังสีเอกซ์เรียบร้อยแล้วทำการวัดค่าความทึบรังสีจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรมอิมเมจ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทึบรังสีของซีเมนต์แต่ละชนิดเทียบกับค่าความทึบรังสีของลิ้มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได และแปลงค่าความทึบรังสีของซีเมนต์ไปเป็นความหนาของโลหะอะลูมิเนียมวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติแบบความแปรปรวนทางเดียว และเปรียบเทียบพหุคูณเชิงซ้อนชนิดทุกคู่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการศึกษาพบว่าซิงค์ฟอสเฟตมีค่าความทึบรังสีสูงสุดเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดใสทั้ง 9 ผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเรซินซีเมนต์ชนิดใสทั้ง 9 ผลิตภัณฑ์พบว่า เนกซ์สตรเรซินซีเมนต์มีค่าความทึบรังสีสูงสุด ตามด้วยวาลิโอลิงค์เอสเทททิกลีซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับวาลิโอลิงค์เอสเทททิกลีชี พานาเวียไฟร์ และพานาเวียเอสแอลทิง ขณะที่ไรเอกซ์วีเนียร์ ซึ่งมีความทึบรังสีต่ำสุดแต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับไรเอกซ์อัลทิเมต นอกจากนี้ยังพบว่าซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และเทมบอนด์เคลียร์ ไม่มีความทึบรังสีเลย จึงสรุปได้ว่า ซีเมนต์ทั้ง 10 ผลิตภัณฑ์ มีความทึบรังสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์มีค่าความทึบรังสีสูงสุด

คำไ้รหัส: ความทึบรังสี/เรซินซีเมนต์/ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์/รังสีเอกซ์

Received: April 02, 2020

Revised: November 04, 2020

Accepted: November 04, 2020

บทนำ

รังสีเอกซ์มีประโยชน์ในทางทันตกรรมโดยเฉพาะการถ่ายภาพเพื่อการวินิจฉัย เนื่องจากอวัยวะต่าง ๆ ของมนุษย์และวัสดุบูรณะในช่องปาก มีโครงสร้าง ความหนาแน่นของสสาร และธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติด้านความทึบรังสี หรือการดูดซับรังสีแตกต่างกันออกไป¹

ปัจจุบันเรซินซีเมนต์เป็นที่นิยมใช้ในการยึดครอบฟัน เนื่องด้วยคุณสมบัติที่เหนือกว่าซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่ก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด-ด่าง² อาทิเช่น การละลายตัวในน้ำ ความแข็งแรงและการสร้างพันธะเคมีกับเนื้อฟัน เป็นต้น นอกจากนี้การพัฒนาเรื่องสีและความใสของเรซินซีเมนต์ ทำให้ทันตแพทย์สามารถเลือกใช้เรซินซีเมนต์ชนิดโปร่งแสง (Translucent) ในกรณีที่ต้องบูรณะฟันด้วยวัสดุเซรามิกชนิดโปร่งแสง (Translucent ceramic) และไม่ประสงค์ปกปิดสีของฟันที่ถูกบูรณะ³

เนื่องจากเรซินซีเมนต์มีความทึบของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างจากเนื้อฟันและเคลือบฟัน ทำให้ทันตแพทย์สามารถสังเกตเห็นซีเมนต์ได้จากภาพถ่ายรังสี โดยเฉพาะตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ด้วยตาเปล่า หรือด้วยเครื่องมือทั่วไป ซึ่งระดับความทึบรังสีที่เหมาะสม ควรทึบรังสีมากกว่าเนื้อฟันธรรมชาติ¹⁻³

มีหลายการศึกษาเปรียบเทียบความทึบรังสีระหว่างซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ทั้งในกลุ่มเรซินซีเมนต์และซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมที่ก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด-ด่าง ซึ่งพบว่าซีเมนต์ทั้งสองกลุ่มมีความทึบรังสีมากกว่าเนื้อฟัน⁴⁻⁶ และยังพบว่ามีบางผลิตภัณฑ์ที่มีความทึบอยู่ระหว่างผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน⁷

Pekkan และคณะ⁵ รายงานว่าซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและเรซินซีเมนต์บางผลิตภัณฑ์เท่านั้นที่มีความทึบรังสีมากกว่าผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันทั้งของฟันมนุษย์และฟันวัว

* นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

** ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

*** สาขาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี

**** ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

Feitosa และคณะ⁶ รายงานว่า ปานาเวียเอฟ (Panavia F) เอ็นฟอร์ซ (Enforce) อีโกลิงค์ (Ecolink) และรีไรเอกซ์เออาร์ซี (Rely X ARC) มีความทึบรังสีน้อยกว่า มัลติลิงค์ (Multlink) และวาเลียโกลิงค์ทูซนิตโปรงใส (Variolink® II Transparent) ส่วน Montes และคณะ⁷ ศึกษาความทึบรังสีของเรซินซีเมนต์จำนวน 6 ผลิตภัณฑ์ เทียบกับพื้นธรรมชาติ พบว่ามีเรซินซีเมนต์เพียง 3 ผลิตภัณฑ์เท่านั้น ที่มีความทึบรังสีมากกว่าผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน

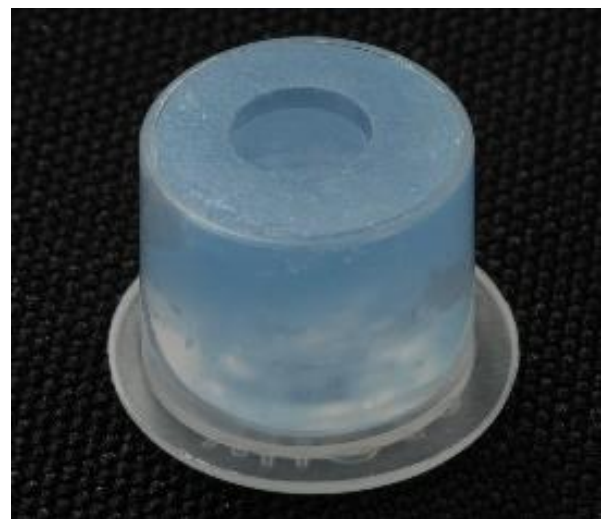
จากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปว่า คุณสมบัติความทึบรังสีเอกซ์ของซีเมนต์เป็นผลมาจากสารประกอบในเนื้อวัสดุ โดยสารที่ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมสูง (High atomic number) จะมีความทึบรังสีเอกซ์มากกว่าสารที่ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ (Low atomic number) ตัวอย่างสารที่ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ได้แก่ อิตเทอร์เบียมฟลูออไรด์ (Ytterbium fluoride, YbF₃) แบเรียมกลาสส์ (Barium glass) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)⁵ เป็นต้น

Furtos และคณะ⁸ ได้ทำการศึกษาผลของเจดส์และปริมาณวัสดุอัดแทรกชนิดอนินทรีย์ (Inorganic filler) กับระดับความทึบรังสีของเรซินซีเมนต์และวัสดุก่อกแกน (Core material) รวม 18 ผลิตภัณฑ์ พบว่าเจดส์ของเรซินซีเมนต์ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความทึบรังสี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Watts และคณะ⁹ ขณะที่ Taira และคณะ¹⁰ ศึกษาปริมาณของวัสดุอัดแทรกเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO₂) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) กับระดับความทึบรังสีของคอมโพสิต พบว่าปริมาณของวัสดุอัดแทรกชนิดอนินทรีย์ที่มีเลขอะตอมสูงจะแปรผันตรงกับระดับความทึบของรังสีของวัสดุ Wadhvani และคณะ¹¹ ใช้ระบบถ่ายภาพรังสีดิจิทัลแทนระบบฟิล์มหรืออนาล็อก (Analog) แบบเดิม เพื่อศึกษาความทึบรังสีเอกซ์ ของซีเมนต์ 8 ชนิด พบว่าซิงค์ฟอสเฟตมีความทึบรังสีสูงสุดเหมือนกับการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น

แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการเปรียบเทียบความทึบรังสีในกลุ่มเรซินซีเมนต์แล้ว แต่ยังคงขาดการศึกษาเรื่องความทึบรังสีของเรซินซีเมนต์ชนิดใส หรือเรซินซีเมนต์ที่ไม่เติมรงควัตถุ (Pigment) ของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความทึบรังสีของเรซินซีเมนต์ชนิดใส 9 ผลิตภัณฑ์กับซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 10 ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม 1 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zinc phosphate cement, SS White, Lakewood, NJ, USA) และเรซินซีเมนต์ชนิดใส 9 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปานาเวียวีไฟว์ (Panavia V5, Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japan) ปานาเวียเอสแอลูทิง (Panavia SA luting, Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japan) วาเลียโกลิงค์ เอสเทติกดีซี (Variolink Esthetic DC, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) วาเลียโกลิงค์เอสเทติก เอสซี (Variolink Esthetic LC, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) รีไรเอกซ์อัลทิเมต (Rely X Ultimate, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) รีไรเอกซ์วีเนียร์ (Rely X Veneer, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B, Sun medical, Shiga, Japan) เนกซ์สทรีเรซินซีเมนต์ (Nexus 3, Kerr Corp., Orange, CA, USA) และเทมบอนด์เคลียร์ (Temp-Bond Clear, Kerr Corp., Orange, CA, USA) ทำการขึ้นรูปซีเมนต์แต่ละชนิดในหลุมของแม่แบบซิลิโคนชนิดใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ลึก 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แม่แบบซิลิโคนชนิดใสที่มีหลุมอยู่ตรงกลาง
Figure 1 Translucent silicone mold with central cavity

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของซีเมนต์ที่ใช้ในวิจัย

Table 1 Description of cements, manufacturer and composition used in this study

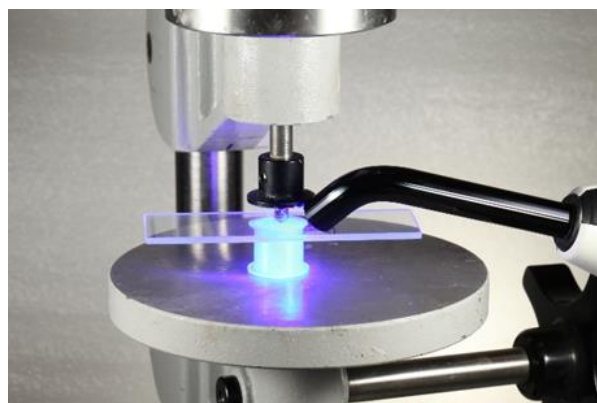
Brands, shade and Batch number	Manufacturer	Composition
Zinc phosphate Cement Tooth Yellow Batch number Powder: 442783 Liquid: 101621-1	SS White, Lakewood, NJ, USA	Powder: Zinc oxide, Magnesium Oxide Liquid: Phosphoric acid, Zinc oxide
Nexus 3 DC Clear Batch number 7120585	Kerr Corp., Orange, CA, USA	Base paste: Barium aluminoborosilicate glass, ytterbium fluoride, ethoxylated bisphenol-A dimethacrylate, urethane dimethacrylate, triethylene glycol dimethacrylate, hydroxyethylmethacrylate, fumed silica, bisphenol-A diglycidyl methacrylate, Ethyldimethylaminobenzoate Catalyst paste: Hydroxyethylmethacrylate, Peppermint oil, Barium aluminoborosilicate glass, ytterbium fluoride triethylene glycol dimethacrylate, ethoxylated bisphenol-A dimethacrylate, urethane dimethacrylate, fumed silica, bisphenol-A diglycidyl methacrylate
Variolink Esthetic DC Neutral Batch number X56282	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Base paste: Ytterbium trifluoride, urethane dimethacrylate, 1,10-decandiol dimethacrylate, acetyl-2-thiourea Catalyst paste: Ytterbium trifluoride, urethane dimethacrylate, 1,10-decandiol dimethacrylate, α,α -dimethylbenzyl hydroperoxide
Variolink Esthetic LC Neutral Batch number Y07160	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Ytterbium trifluoride, urethane dimethacrylate, 1,10-decandiol dimethacrylate
Panavia V5 Clear Batch number 4C0022	Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japan	Bisphenol A diglycidylmethacrylate (BisGMA), triethylene glycol dimethacrylate (TEGMA), silanated barium glass filler, silanated fluoroaluminosilicate glass filler colloidal silica, surface treated aluminum oxide filler, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, dl-Camphorquinone Initiators, accelerators, pigment
Panavia SA Translucent Batch number 8N0106	Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japan	Bisphenol A diglycidylmethacrylate (BisGMA), triethylene glycol dimethacrylate (TEGMA), 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), sodium fluoride, silanated barium glass filler, silanated colloidal silica, 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MPD), hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, dl-Camphorquinone, Peroxide, Accelerators, Catalysts, Pigments
Rely X Ultimate Clicker Translucence Batch number 4034627	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Base paste: silane treated glass powder, 2-propenoic acid, 2-methyl-, 1,1'- [1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl] ester, reaction products with 2-hydroxy-1,3-propanediyl dimethacrylate and phosphorus oxide triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) silane treated silica, oxide glass chemicals, sodium persulfate, tert-butyl peroxy-3,5,5-trimethylhexanoate, copper (II) acetate monohydrate Catalyst paste: Glass powder, surface modified with 2-propenoic acid, 2-methyl-3-(trimethoxysilyl)propyl ester, substituted dimethacrylate 2,4,6(1H,3H,5H)-Pyrimidinetrione, 5-phenyl-1-(phenylmethyl)-, calcium salt, 1,12-dodecane dimethacrylate, silane treated silica, sodium p-toluenesulfonate, 2-Propenoic acid, 2-methyl-, [(3-methoxypropyl)imino]di-2,1-ethanediyl ester, calcium hydroxide, 2-propenoic acid, 2-methyl-, 2-[(2-hydroxyethyl)(3-methoxypropyl)amino]ethyl ester

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของซีเมนต์ที่ใช้ในวิจัย (ต่อ)

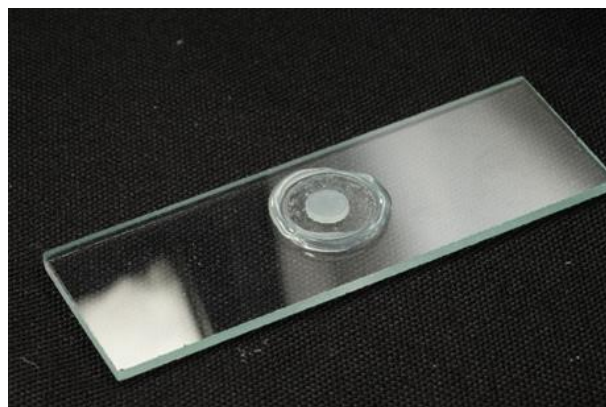
Table 1 Description of cements, manufacturer and composition used in this study (Cont.)

Brands, shade and Batch number	Manufacturer	Composition
Rely X Veneer Translucence Batch number N986641	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Silane treated ceramic, triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) bisphenol a diglycidyl ether dimethacrylate (BISGMA), silane treated silica, reacted polycaprolactone polymer, titanium dioxide, diphenyliodonium hexafluorophosphate, triphenylantimony
Super-Bond C&B Clear Batch number Powder: RW13 Catalyst V: SX13 Liquid monomer: RT11	Sun medical, Shiga, Japan	Powder: Polymethyl Methacrylate (PMMA) Liquid: Methyl Methacrylate (MMA), 4-Methacryloxyethyl trimellitate anhydride (4-META) Initiator: Tri-n-butyl borane (TBB)
Temp-Bond® Clear™ Clear (Temporary cement: SC) Batch number 6987800	Kerr Corp., Orange, CA, USA	Base paste: Dibutyl phthalate, hydroxyethylmethacrylate, Fumed silica, N-(2-Pyridyl) thiourea, Ethyldimethylaminobenzoate, Triclosan Catalyst paste: Fumed silica mixture, Dibutyl phthalate, Fumed silica

โดยทำการผสมซีเมนต์ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด จากนั้นบรรจุซีเมนต์ลงในหลุมแม่แบบ หากเป็นเรซินซีเมนต์ ชนิดหลอดคู่ติดกัน (Dual barrel) จะใช้หัวฉีดเกลียวผสมอัตโนมัติ (Auto mixing tip) โดยให้ปลายหัวฉีดเอียงเข้าหาผนังด้านหนึ่งของแม่แบบแล้วค่อยๆ ฉีดซีเมนต์จนเต็มหลุม เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุ กรณีที่เป็นซีเมนต์ที่ต้องผสมด้วยมือให้ทำการผสมบนกระดาษเคลือบมันโดยวางพายผสม (Spatula) ให้แนบไปกับผิวหน้าของแผ่นผสมเพื่อกำจัดฟองอากาศ ส่วนซูเปอร์บอนด์ซีเมนต์บีให้ผสมในภาชนะที่มากับชุดผลิตภัณฑ์ จากนั้นให้บรรจุซีเมนต์ลงในกระบอกฉีดชนิดรูโต (AccuDose High Viscosity, Centrix Inc., Shelton, CT, USA) เพื่อฉีดซีเมนต์ลงในหลุมแม่แบบแล้วปิดทับด้วยแผ่นแก้วสไลด์ที่ผิวหน้าฉาบด้วยวาสลีนบางๆ แล้วกดด้วยน้ำหนักจากแท่งโลหะหนัก 1000 กรัม กดไว้นาน 10 นาที สำหรับกลุ่มที่บ่มตัวเอง (Self curing) กรณีที่เป็นเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสง (Light curing) หรือชนิดบ่มรวม (Dual curing) จะทำการบ่มด้วยเครื่องฉายแสงบลูเฟส (Bluephase® LED curing light, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) รูปแบบความเข้มแสงจากน้อยไปมาก (Soft start mode) ที่ความเข้มเฉลี่ย 1,066 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) โดยให้ปลายท่อนำแสงวางอยู่ใกล้กับชิ้นงาน แล้วฉายนาน 40 วินาทีต่อด้าน (รูปที่ 2) เมื่อฉายครบทั้ง 4 ด้านแล้วนำแท่งกดโลหะออก แล้ววางปลายท่อนำแสงให้แนบกับแผ่นแก้ว และตั้งฉากกับผิวหน้าชิ้นทดสอบ แล้วฉายแสงนาน 40 วินาที ทำการแกะชิ้นทดสอบออกจากแม่พิมพ์ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 การขึ้นรูปและบ่มด้วยแสงของชิ้นทดสอบเรซินซีเมนต์
Figure 2 Fabrication and light activation of resin cement specimen



รูปที่ 3 ซีเมนต์ที่บ่มตัวเองแล้วหลังจากแกะออกจากแม่พิมพ์
Figure 3 Cured cement after removal from silicone mold

ตัดแต่งส่วนเกินโดยรอบด้วยไบมิดฟัดต์เบอร์ 15 โดยเตรียมชิ้นทดสอบ จำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ระบบดิจิทัล (Digital Vernier caliper, Mitutoyo, Kawasaki, Japan) ทำการขัดส่วนเกินของชิ้นทดสอบด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ เบอร์ความละเอียด 2000 กริต (2000-grit silicon carbide paper; PACE technologies, Tucson, AZ, USA) เป้าเพื่อกำจัดฝุ่นออกจากผิวหน้าด้วยแรงลมจาก ทริปปิเลทไชรินจ์ โดยความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดได้ต้องมีความหนา 1 ± 0.01 มิลลิเมตร จากนั้นส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope; ML 9300, Meiji Techno Co. Ltd., Saitama, Japan) กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อคัดแยกชิ้นทดสอบที่มีรอยร้าวหรือฟองอากาศออกจากกลุ่ม เก็บชิ้นทดสอบในภาชนะที่มีฝาปิด และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ใส่ในตู้ควบคุม (Incubator; Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., Korokoro, Lower Hutt, New Zealand) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบให้นำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำออกภาชนะและซับผิวหน้าด้วยกระดาษ

เช็ดเลนส์ (Lens cleaning tissue, Whatman International Ltd., Kent, England) แล้วนำชิ้นทดสอบจากแต่ละผลิตภัณฑ์ ไปวางบนแผ่นเซนเซอร์ (3x4 cm Digora Imaging Plate) เป็น 2 แถวแถวละ 5 ชิ้น โดยให้แต่ละชิ้นห่างกันประมาณ 2 มิลลิเมตร วางลิ่มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได (Aluminium step wedge) ไว้ข้างเคียง (รูปที่ 4) โดยแท่งโลหะอะลูมิเนียมนี้มีลักษณะเป็นขั้นบันไดทั้งหมด 5 ขั้น ที่ผลิตมาจากโลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ร้อยละ 98 (DHEF Inc, Taipei, Taiwan) ซึ่งแต่ละขั้นมีความสูงเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตร และแต่ละขั้นมีความกว้างและยาวเท่ากับ 4 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 5) ครอบแผ่นเซนเซอร์ด้วยแท่นอะคริลิกใสที่เจาะรูตรงกลาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มิลลิเมตร ความสูง 16 มิลลิเมตร โดยด้านบนของแท่นเป็นรูปกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 66 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตร ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อเป็นที่วางของปลายปากท่อนำรังสี (Beam limiting device) ดังนั้นแท่นอะคริลิกนี้จึงทำหน้าที่กำหนดทั้งระยะห่างและระนาบของปลายปากท่อนำรังสี (รูปที่ 6A) ใส่ปลายท่อนำรังสีเข้ากับแท่นรองรับ (รูป 6B)

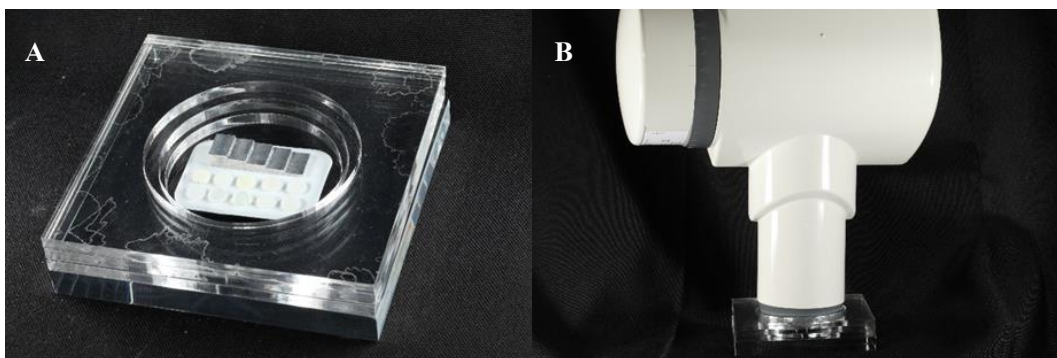


รูปที่ 4 ชิ้นทดสอบและลิ่มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันไดที่วางบนแผ่นเซนเซอร์

Figure 4 Specimens and aluminum step wedge placed on the sensor

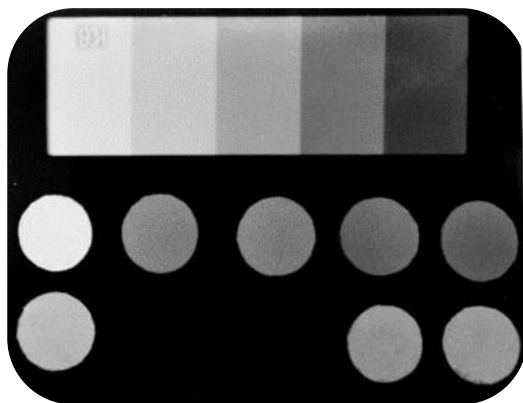


รูปที่ 5 ลิ่มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได
Figure 5 Aluminum step wedge



รูปที่ 6 แท่นกลวงอะคริลิกใส ที่วางครอบชิ้นทดสอบและลิ่มโลหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได (A) ปากท่อนำรังสีที่ได้เข้าไปในแท่นรองรับอะคริลิก (B)
Figure 6 Clear acrylic hallow platform which covered the specimens and aluminum step wedge (A) Radiographic tube inserted into supported acrylic platform (B)

จากนั้นฉายรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องฉายรังสี (Model Kodak 2200 Intraoral X-Ray System, Carestream Health, Inc. Rochester, NY, USA.) ที่ 60 กิโลโวลต์ 7 มิลลิแอมป์ ด้วยระยะเวลา 0.211 วินาที ที่ระยะห่าง 12 มิลลิเมตร ประมวลผลภาพถ่ายรังสีจากระบบคอมพิวเตอร์แล้วส่งภาพถ่ายรังสีที่ได้ (รูปที่ 7) ไปยังโปรแกรมอิมเมจเจ 1.41 (Image J 1.41, Wayne Rasband, National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)¹² วัดค่าความเทา (Gray value) ในแต่ละชั้นของลึมหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได โดยวัดค่าความเทาเฉลี่ยจากพื้นที่ที่กำหนดคือ 60 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนค่าความเทารังสีของแต่ละชั้น นำค่าความเทาที่ได้จากภาพถ่ายทั้ง 10 ภาพ มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาสร้างเส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve) ซึ่งเป็นกราฟมาตรฐานเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเทาและความหนาของโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งจะได้สมการหรือเส้นโค้งการสอบเทียบและสมการถดถอย จากนั้นวัดค่าความเทา ในพื้นที่วงกลมอยู่จุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ โดยกำหนดพื้นที่คำนวณคือ 12.5 ตารางมิลลิเมตร แปลงค่าที่บ่งชี้ของชั้นทดสอบให้เป็นความหนาของโลหะอะลูมิเนียมโดยใช้สมการจากเส้นโค้งการสอบเทียบ แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 22 (IBM SPSS Statics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY, USA) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทุกคู่ (Tukey's multiple comparisons) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายรังสีของตัวอย่างซีเมนต์จาก 10 กลุ่ม และลึมหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันได

Figure 7 shows digital radiographic image of specimens from 10 groups and aluminum step wedge.

ผล

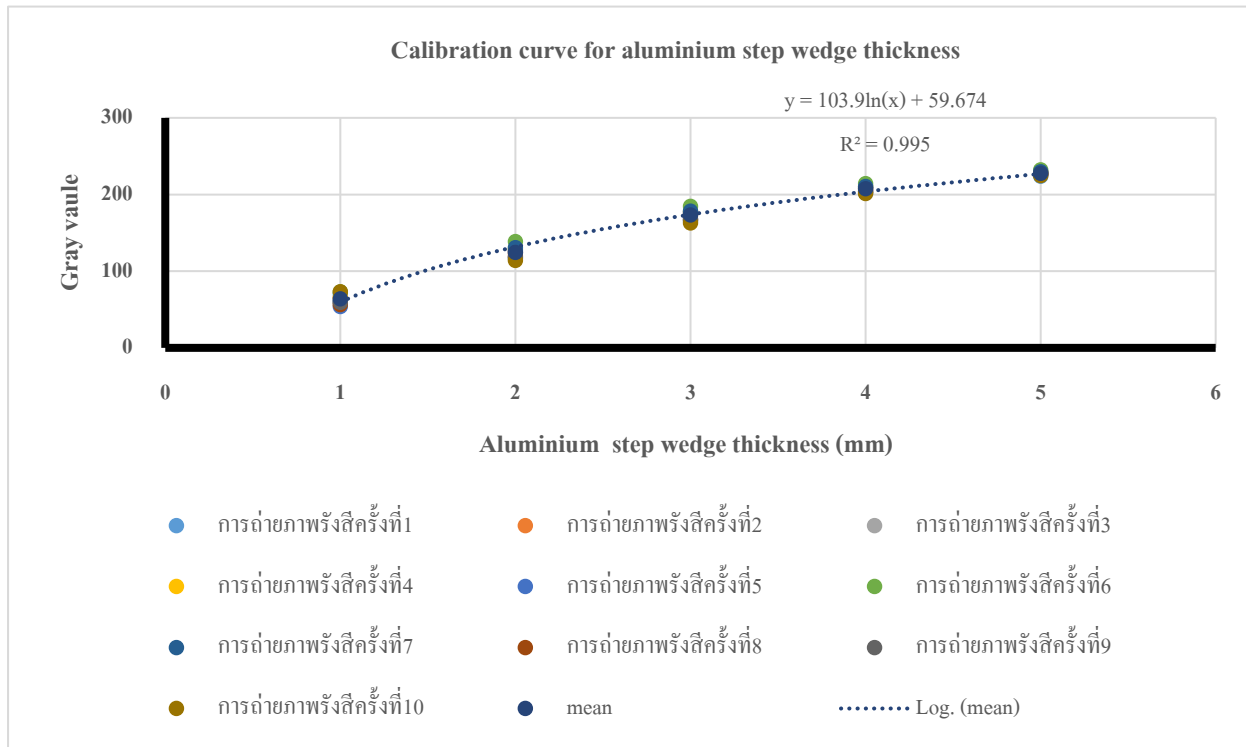
การสร้างเส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve)

และสมการถดถอย จากการวัดค่าเฉลี่ยความทึบรังสีในแต่ละชั้นของลึมหะอะลูมิเนียมแบบขั้นบันไดสามารถสร้างเป็นเส้นโค้งการสอบเทียบและได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเทาและความหนาของโลหะอะลูมิเนียม (รูปที่ 8) สมการถดถอยที่ได้คือ

$$Y = 103.9 \ln(x) + 59.674 \text{ หรือ } x = e^{\frac{Y-59.674}{103.9}}$$

ซึ่ง Y คือค่าความเทา และ X คือความหนาของโลหะอะลูมิเนียม (Aluminium thickness value) นำค่าความเทาของซีเมนต์ทั้ง 10 กลุ่ม มาคำนวณ และได้ผลลัพธ์เป็นความหนาของโลหะอะลูมิเนียม (ตารางที่ 2)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความหนาของโลหะอะลูมิเนียมด้วยความแปรปรวนของข้อมูลแบบทางเดียว และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทุกคู่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์มีความทึบรังสีสูงสุดและมีค่ามากกว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 9 ผลึกภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาเฉพาะเรซินซีเมนต์ชนิดใดทั้ง 9 ผลึกภัณฑ์ พบว่าเนกซ์สทรีเรซินซีเมนต์ มีความทึบรังสีสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่เรซินซีเมนต์ 4 ผลึกภัณฑ์ ที่มีความทึบรังสีรองลงมาคือ วาลิโอลิงค์เอสเทททิคดีซี วาลิโอลิงค์เอสเทททิคดีแอลซี ฟานาเวียไวไฟว์ และฟานาเวียเอสเอสอูทิง ซึ่งทั้ง 4 ผลึกภัณฑ์นี้แสดงค่าความทึบรังสีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนเรซินซีเมนต์ที่มีความทึบต่ำสุดที่สามารถเทียบเป็นความหนาของโลหะอะลูมิเนียมได้คือ รีโรเอกซ์อัลทิเมต และรีโรเอกซ์วีเนียร์ ซึ่งซีเมนต์ทั้ง 2 ผลึกภัณฑ์นี้มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี และเทมบอนด์เคลียร์ ไม่มีความทึบต่อรังสีเอกซ์ (Radiolucent)



รูปที่ 8 เส้นโค้งการสอบเทียบและสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเทา (แกนตั้ง) และความหนาของโลหะอะลูมิเนียม (แกนนอน) ในหน่วยมิลลิเมตร

Figure 8 Calibration curve and linear equation related between the gray value (Vertical axis) and aluminium thickness value (Horizontal axis) in millimeter

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับค่าสีเทา (Gray value scale) และ ค่าความหนาอะลูมิเนียม (Aluminium thickness value) ในวัสดุที่ใช้ทดสอบ

Table 2 Means and standard deviations (SD) of gray value and aluminium step wedge thickness of the tested materials.

Brands	Gray value (Mean±SD)	Aluminium thickness value (Mean±SD) [#]
Zinc phosphate Cement	236.046 ± 3.660	5.429±0.141 ^A
Nexus 3	192.416±7.175	3.595±0.250 ^B
Variolink Esthetic DC	152.749±6.222	2.4529±0.148 ^C
Variolink Esthetic DC	148.474±10.598	2.360±0.234 ^C
Panavia V5	143.650±11.850	2.256±0.257 ^C
Panavia SA	135.680±8.804	2.084±0.177 ^C
Rely X Ultimate	99.948±10.540	1.4795±0.150 ^D
Rely X Veneer	93.12±12.929	1.3886±0.182 ^D
Super-Bond C&B	Nd*	Nd*
Temp-Bond Clear	Nd*	Nd*

Nd* ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้

Nd* Non-detectable

ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p>0.05$

The same letters in the column indicate no statistically significant difference at $p>0.05$

บทวิจารณ์

ผลจากการทดลองพบว่าเรซินซีเมนต์ชนิดใสทั้ง 9 ผลิตภัณฑ์มีความทึบรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกัน และมีความทึบรังสีเอกซ์ไม่เท่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์คือเรซินซีเมนต์ชนิดใสทั้ง 9 ผลิตภัณฑ์ มีความทึบรังสีเอกซ์แตกต่างจากซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ไอเอสโอ 4049/ 2019 (ISO 4049: 2019 Dentistry-Polymer-based restorative materials) เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยเรื่องวัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบพื้นฐาน กำหนดไว้ว่าวัสดุที่ใช้ในช่องปากต้องมีความทึบต่อรังสีเอกซ์ และควรมีความทึบรังสีเท่ากับโลหะอะลูมิเนียมที่ระดับความหนาเดียวกัน แต่ Gu และคณะ¹³ เสนอไว้ว่าวัสดุทันตกรรมควรมีระดับความทึบรังสีเอกซ์อย่างน้อยที่สุดเท่ากับความทึบรังสีของโลหะอะลูมิเนียมที่หนา 1 มิลลิเมตร Pekkan และคณะ⁵ รายงานว่าเนื้อฟันและผิวเคลือบฟันที่หนา 1 มิลลิเมตร มีระดับความทึบรังสีเอกซ์เท่ากับความหนาของโลหะอะลูมิเนียมที่ 1 และ 2 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษา^{4,14,15} โดยการศึกษาครั้งนี้พบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ มีความทึบรังสีมากที่สุดซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับหลายการศึกษาที่ผ่านมา^{4,5,16-18,21} ถึงแม้ว่าซีเมนต์ชนิดนี้จะให้ค่าความทึบรังสีสูงสุด และทำให้ทันตแพทย์สังเกตเห็นซีเมนต์ส่วนเกินจากภาพถ่ายรังสีได้ชัดเจน แต่ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ก็มีข้อจำกัดในด้านความสวยงาม เมื่อใช้กับชิ้นงานชนิดที่เป็นกระเบื้องล้วน เพราะซีเมนต์ชนิดนี้มีความทึบแสงมากเมื่อใช้กับชิ้นงานที่บางและใสจะทำให้สีของชิ้นงานมีค่าความสว่างมากและทึบ นอกจากนี้ยังมีค่าการละลายตัวในน้ำสูง อีกทั้งไม่สามารถพ่นกรอยวิการ (Defect) ที่ผิวด้านในของชิ้นงานได้เหมือนเรซินซีเมนต์

จากการศึกษานี้ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดโปร่งแสง เนื่องจากหลังขั้นตอนการยึดซีเมนต์กลุ่มดังกล่าวในช่องปากผู้ป่วย ทำให้ทันตแพทย์ตรวจสอบซีเมนต์ส่วนเกินด้วยตาเปล่าได้ยาก ดังนั้นการใช้ถ่ายภาพรังสีเป็นวิธีหนึ่งในการตรวจหาซีเมนต์ส่วนเกินและชั้นซีเมนต์ที่อยู่ใต้ชิ้นงาน แต่การใช้ภาพถ่ายรังสีอาจเกิดปัญหาได้ เช่น หากระดับความทึบรังสีของซีเมนต์ที่ใช้ยึดชิ้นงานบนพื้นหลักมีค่าน้อยกว่าเนื้อฟันอาจส่งผลเสียต่อการแปลผลจากภาพถ่ายรังสี เพราะมักทำให้เกิดการแปลผลผิดว่าระดับความทึบของซีเมนต์ที่มีค่าน้อยกว่าเนื้อฟันนั้นเป็นการบุซ้ำ (Secondary caries) ได้วัสดุบูรณะ และกรณีที่ใช้เรซิน

ซีเมนต์ชนิดโปร่งแสงบางผลิตภัณฑ์ อาจไม่สามารถตรวจหาซีเมนต์ส่วนเกินได้เหงือกได้

กรณีที่วัสดุนี้มีระดับความทึบรังสีที่แตกต่างจากโครงสร้างของฟันธรรมชาติอย่างมากที่สุดก็ยังมีทั้งข้อดีและข้อเสีย กล่าวคือ หากเป็นซีเมนต์ส่วนเกินที่ตกค้างอยู่ใต้ร่องเหงือก การที่รังสีมากเป็นผลดีที่ทำให้สังเกตเห็นได้ง่าย แต่ในกรณีที่เนื้อฟันของซีเมนต์ที่ติดระหว่างชิ้นงานกับเนื้อฟันมีความทึบรังสีที่แตกต่างกันมาก ๆ อาจทำให้เกิดการแปลผลภาพรังสีผิดไปได้เช่นกัน เพราะเกิดจากผลของแถบมืด (Mach band effect) ซึ่งเป็นภาพลวงตาที่ดังชื่อตามนักฟิสิกส์แอมสแตร์ (Ernst Mach)¹⁹ นั่นคือเกิดภาพลวงตาที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งจากภาพถ่ายรังสี เนื้อฟันมีความมืดเมื่อเทียบกับซีเมนต์ที่มีความสว่าง โดยระหว่างรอยต่อส่วนที่มีมืดยิ่งขึ้นผิดความจริง ขณะที่ส่วนที่สว่างก็จะสว่างยิ่งขึ้นเกินความจริง ดังนั้นอาจทำให้แปลผลผิดว่ามีการบุซ้ำได้แถบของซีเมนต์ได้²⁰

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความทึบรังสีของการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ ความหนาของชิ้นทดสอบดังนั้นจึงกำหนดความหนาให้เท่ากับ 1 มิลลิเมตรทุก ๆ ชิ้นและมีค่าความคลาดเคลื่อนบวก-ลบ 0.01 มิลลิเมตร และการเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 100 เพื่อป้องกันชิ้นงานเกิดรอยร้าว นอกจากนี้ไม่แช่ชิ้นงานในน้ำไว้ 24 ชั่วโมงเพราะจากการศึกษาของ Junqueira และคณะ²¹ พบว่าซีเมนต์ที่แช่น้ำทิ้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งและการทำการเร่งอายุโดยวิธีเทอร์โมไซเคิล (Thermocycling) ส่งผลให้ความทึบรังสีมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการละลายตัวและการเสื่อมสลายของวัสดุตนเอง การแช่น้ำหลายชั่วโมงยังส่งผลต่อกลุ่มซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์เพราะเกิดการละลายตัวอาจส่งผลให้ความหนาแน่นและความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการแช่น้ำเพียง 5 นาทีก่อนทำการทดสอบระยะทางและมุมของท่อนำรังสี ที่ทำกับชิ้นทดสอบ ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้แท่นพลาสติกกดลงเป็นตัวกำหนดระยะและมุมของท่อนำรังสี นอกจากนี้การใช้ระบบดิจิทัลมาช่วยแทนการใช้น้ำยาล้างฟิล์มแบบเก่าก็จะช่วยลดความผิดพลาดของระดับความทึบรังสีของการถ่ายภาพแต่ละครั้งได้

นอกจากปัจจัยเหล่านี้แล้ว ปัจจัยควบคุมที่สำคัญในการใช้เทียบแปรผลคือ ลิ้มโลหะอะลูมิเนียมแบบขึ้นบันได หรือเพนิโตรมิเตอร์ (Penetrometer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากโลหะอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นรูปลิ้มขึ้นบันได โดยแต่ละ

ขึ้นจะมีความสูงที่เพิ่มอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อฉายรังสีเอกซ์ผ่านอุปกรณ์นี้ ภาพถ่ายเอกซ์เรย์ที่ได้จะเรียงระดับตั้งแต่ความเข้มเทาสูงสุด (ค่อนข้างเป็นสีดำ) จนถึงระดับความเข้มเทาน้อยสุด (ค่อนข้างเป็นสีขาว) ซึ่งอุปกรณ์นี้ใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานเพื่อประเมินคุณภาพของเครื่องเอกซ์เรย์ตลอดจนกระบวนการได้มาซึ่งภาพถ่ายรังสี¹ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างลิ่มอะลูมิเนียมแบบขั้นบันไดตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4740 (พ.ศ. 2558) โดยทำด้วยโลหะผสมที่มีอะลูมิเนียมอย่างน้อยร้อยละ 98 มีปริมาณทองแดงไม่เกินร้อยละ 0.1 และปริมาณเหล็กไม่เกินร้อยละ 1

วัสดุทึบรังสีในทางทันตกรรม มักในรูปสารประกอบ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) สตรอนเทียมคาร์บอเนต (SrCO_3) อิตเรียมฟลูออไรด์ (YF_3) เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) บิสมาทออกไซด์ (Bi_2O_3) และอิตเทอร์เบียมฟลูออไรด์ (YbF_3)²² เนื่องจาก จากมีความเสถียรสูง ปลอดภัย และมีความทึบรังสีไม่มากทำให้สามารถปรับระดับความทึบรังสีได้จากปริมาณของสารประกอบที่ใส่ในซีเมนต์ นอกจากระดับความทึบรังสีจะขึ้นกับเลขอะตอมที่สูงแล้ว ขนาด และความหนาแน่นของปริมาณของสารทึบรังสีในส่วนประกอบของซีเมนต์ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความทึบรังสีได้ด้วย²³⁻²⁵

จากผลการวิจัยพบว่าเรซินซีเมนต์ในกลุ่มเนกซ์สทรีเรซินซีเมนต์ มีค่าความทึบรังสีสูงที่สุดในกลุ่มเรซินซีเมนต์ด้วยกัน เนื่องมาจากการมีส่วนประกอบของสารทึบรังสีสองชนิดคือ แบเรียมอะลูมิเนียมโบโรซิลิเกตกลาสส์ (Barium aluminoborosilicate glass) ร้อยละ 30 ถึง 60 และอิตเทอร์เบียมฟลูออไรด์ ร้อยละ 10 ถึง 30 เมื่อเทียบกับกลุ่มเรซินซีเมนต์อื่นซึ่งมีสารทึบรังสีเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วาลิโอลิงค์เอสเททิกดีซี และแอลซี มีเพียงอิตเทอร์เบียมฟลูออไรด์ ในขณะที่พานาเวียไวไฟว์ และ พานาเวียเอสแอลูทิงมีแบเรียมกลาสส์ ส่วนรีโรเอกซ์วีเนียร์ มีไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) และรีโรเอกซ์อัลทิเมต มีอนุภาคของแก้ว (Glass powder) เป็นวัสดุอุดแทรกชนิดอนินทรีย์ ที่บริษัทผู้ผลิตไม่ได้เปิดเผยว่าเป็นแก้วประเภทใด ซึ่งมีเลขอะตอมที่น้อยกว่าสารทึบรังสีตัวอื่นๆ โดยการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยของ Hosney และคณะ¹⁵ ซึ่งพบว่า ค่าความทึบรังสีไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความโปร่งแสงและสีของเรซินซีเมนต์ แต่ค่าความทึบรังสีสัมพันธ์กับชนิดของสารทึบรังสีที่อยู่ในเรซินซีเมนต์

ส่วนซูเปอร์บอนซีแอนด์บีและเทมบอนด์เคลียร์นั้นไม่พบความทึบรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นเพราะซูเปอร์บอนซีแอนด์บีเป็นซีเมนต์ที่ไม่มีวัสดุอุดแทรกเป็นส่วนประกอบอยู่เลย ขณะที่เทมบอนด์เคลียร์มีวัสดุอุดแทรกคือซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) ที่มีซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุทึบแสงชนิดอื่น ๆ จึงทำให้ไม่ทึบรังสี^{10,26}

บทสรุป

ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์มีค่าความทึบรังสีสูงที่สุดในบรรดาซีเมนต์ทั้ง 10 ผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เรซินซีเมนต์ชนิดใสทั้ง 9 ผลิตภัณฑ์ มีสมบัติความทึบรังสีแตกต่างกันไป ตั้งแต่ไม่ทึบรังสีจนถึงระดับความทึบรังสีเท่ากับอะลูมิเนียมขั้นที่ 4 โดยพบว่าเนกซ์สทรีเรซินซีเมนต์ มีค่าความทึบรังสีมากที่สุด ขณะที่ซูเปอร์บอนซีแอนด์บี และเทมบอนด์เคลียร์ ไม่พบความทึบรังสี

เอกสารอ้างอิง

- White SC, Pharoah M, editors. Oral Radiology: Principles and Interpretation. 7thed. St. Louis: Elsevier, 2014:131-52.
- Braga RR, Mitra SB In: Powers JM, Sakaguchi RL. Craig's Restorative Dental Materials.13thed. Philadelphia, Elsevier, 2012:327-44.
- Bayindir F, Koseoglu M. The effect of restoration thickness and resin cement shade on the color and translucency of a high-translucent monolithic zirconia. J Prosthet Dent 2020;123(1):149-54.
- Fonseca RB, Branco CA, Soares PV, Correr-Sobrinho L, Haiter-Neto F, Fernandes-Neto AJ, et al. Radiodensity of base, liner and luting dental materials. Clin Oral Investig 2006;10(2):114-8.
- Pekkan G, Özcan M. Radiopacity of different resin-based and conventional luting cements compared to human and bovine teeth. Dent Mater J 2012;31(1):68-75.
- Feitosa FA, Oliveira M, Rodrigues JA, Cassoni A, Reis AF. Comparison of the radiodensity of luting materials. Rev Odontol UNESP 2011; 40(6): 285-9.

7. Montes-Fariza R, Monterde-Hernández M, Cabanillas-Casabella C, Pallares-Sabater A. Comparative study of the radiopacity of resin cements used in aesthetic dentistry. *J Adv Prosthodont* 2016;8(3):201-6.
8. Furtos G, Baldea B, Silaghi-Dumitrescu L, Moldovan M, Prejmerean C, Nica L. Influence of inorganic filler content on the radiopacity of dental resin cements. *Dent Mater J* 2012;31(2):266-72.
9. Watts DC. Radiopacity versus composition of some barium and strontium glass composites. *J Dent* 1987; 15(1):38-43.
10. Taira M, Toyooka H, Miyawaki H, Yamaki M. Studies on radiopaque composites containing ZrO_2 - SiO_2 fillers prepared by the sol-gel process. *Dent Mater* 1993; 9(3):167-71.
11. Wadhwani C, Hess T, Faber T, Piñeyro A, Chen CSK. A descriptive study of the radio-graphic density of implant restorative cements. *J Prosthet Dent* 2010; 103(5):295-302.
12. Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri, KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* 2012;9(7):671-5.
13. Gu S, Rasimick BJ, Deutsch AS, Musikant BL. Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. *Dent Mater* 2006;22(8):765-70.
14. Williams JA, Billington, RW. A new technique for measuring the radiopacity of natural tooth substance and restorative materials. *J Oral Rehabil* 1987;14(3):267-9.
15. Hosney S, Abouelseoud HK, El-Mowafy O. Radiopacity of resin cements using digital radiography. *J Esthet Restor Dent* 2017;29(3):215-21.
16. Reis JM, Jorge EG, Ribeiro JG, Pinelli LA, Rached FO, Filho MT. Radiopacity evaluation of contemporary luting cements by digitization of images. *ISRN Dent* 2012;2012:704246. Epub 2012 Sep 13.
17. Matsumura H, Sueyoshi M, Tanaka T, Atsuta M. Radiopacity of dental cements. *Am J Dent* 1993;6(1): 43-5.
18. Tsuge T. Radiopacity of conventional, resin-modified glass ionomer, and resin-based luting materials. *J Oral Sci* 2009;51(2):223-30.
19. Nielsen CJ. Effect of scenario and experience on interpretation of mach bands. *J Endod* 2001;27(11): 687-91.
20. Berry HMJ. Cervical burnout and Mach band: two shadows of doubt in radiologic interpretation of carious lesions. *J Am Dent Assoc* 1983;106(5):622-25.
21. Junqueira R, Carvalho R, Yamamoto F, Almeida S, Verner F. Evaluation of radiopacity of luting cements submitted to different aging procedures. *J Prosthodont* 2018;27(9):853-59.
22. Collares FM, Ogliari FA, Lima GS, Fontanella VR, Piva E, Samuel SM. Ytterbium trifluoride as a radiopaque agent for dental cements. *Int Endod J* 2010;43(9):792-7.
23. Toyooka H, Taira M, Wakasa K, Yamaki M, Fujita M, Wada T. Radiopacity of 12 visible-light cured dental composite resins. *J Oral Rehabil* 1993;20(6):615-22.
24. Bowen RL, Cleek GW. X-ray-opaque reinforcing fillers for composite materials. *J Dent Res* 1969;48(1):79-82.
25. Bowen RL, Cleek GW. A new series of X-ray-opaque reinforcing fillers for composite materials. *J Dent Res* 1972;51(1):177-82.
26. Ergücü Z, Türkün LS, Onem E, Güneri P. Comparative radiopacity of six flowable resin composites. *Oper Dent* 2010;35(4):436-40.

ผู้รับผิดชอบบทความ

วิศรุตม์ ประวิติวัชร

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปทุมวัน กรุงเทพฯ

โทรศัพท์: 02 218 8532-34

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: icesk125@gmail.com

Radiopacity of 9 Clear Resin Cements and Zinc Phosphate Cement

Prawatvatchara W* Sriamporn T** Klaisiri A*** Thamrongananskul N****

Abstract

The aim of this study was to compare radiopacity value of 9 clear resin cements and zinc phosphate cement. Ten group of specimens were divided by commercial brand. Disc specimens (diameter: 6 mm and thickness: 1 mm) were fabricated by manufacturer's instruction ($n=10$). The samples and aluminum step wedge used as standard for radiologic analysis were placed on X-ray sensor. They were digitally radiographed together and the digital radiographic images were then analyzed with ImageJ program. The relationship between the gray value for each specimen and the aluminium step wedge thickness were plotted and transferred. The data were analyzed by One-way ANOVA and Tukey's post-hoc test at $p<0.05$. Zinc phosphate cement showed the highest radiopacity value among 10 dental cement groups. For the resin cements, Nexus 3 demonstrated the highest radiopacity value followed by Variolink® Esthetic LC which was no statistically significant difference to Variolink® Esthetic DC, Panavia V5 and Panavia SA luting. Moreover, Rely™ X Veneer was the lowest radiopacity value but it was no statistically significant difference to Rely™ X Ultimate Clicker. However, Superbond C&B and Temp-Bond Clear showed radiolucent. In conclusion, there were statistically significant among 10 groups of cement in which zinc phosphate cement showed the highest radiopacity value.

Keywords: Radiopacity/ Resin cement/ Zinc phosphate cement/ X-ray

Corresponding Author

Wisarat Prawatvatchara

Department of Prosthodontics,

Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University,

Pathumwan Bangkok 10330

Tel.: +66 2 218 8532-34

E-mail: icesk125@gmail.com

* Doctoral student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok.

** Department of Prosthodontics, College of Dental Medicine, Rangsit University, Pathumthani.

*** Division of Operative Dentistry, Thammasat University, Pathumthani.

**** Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok.