

บทความวิจัย (Research Article)

คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล นาโน Physical properties of nano-zinc oxide eugenol root canal cement

มยุรัชฎ์ พิพัฒภาสกร^{1*}, นิรันดร์ โททองคำ¹, วิสาขะ ลิ้มวงศ์¹ และ ปทุมพรพน พรมสินชัย²
Mayurach Pipatphatsakorn^{1*}, Nirundorn Thothongkam¹, Visakha Limwongse¹ and Patumpan Promsinchai²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ 4 ชนิด ได้แก่ ฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที ซิยูซิลเลอร์ เอ็มยูซิลเลอร์ และซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโน

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดต่างๆ ตามข้อกำหนดของไอเอสโอ 6876 ได้แก่ การทดสอบการไหลแผ่ ระยะเวลาการก่อตัว ความหนาของฟิล์ม การเปลี่ยนแปลงมิติ การละลายตัว และความที่บร้งสี โดยทดสอบซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดละ 3 ชิ้นตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่า การไหลแผ่ การละลายตัว และความที่บร้งสีของซีเมนต์อุดคลองรากฟันทั้ง 4 ชนิดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนระยะเวลาการก่อตัวของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดธรรมดาทุกตัวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (30 นาที - 72 ชั่วโมง) ยกเว้นซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนที่มีระยะเวลาการก่อตัวน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (25.67 นาที) และซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล ซีเมนต์ชนิดนาโนมีความหนาของแผ่นฟิล์มน้อยที่สุด (0.03 มม.) ส่วนซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดอื่นๆ มีความหนาของแผ่นฟิล์มอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน และฟัลป์คาแนลอีดับบลิวทีเป็นซีเมนต์ชนิดเดียวที่มีการเปลี่ยนแปลงมิติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานไอเอสโอ

จากผลการศึกษาสรุปว่าซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีคุณสมบัติต่าง ๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไอเอสโอ 6876 เช่นเดียวกับซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ยกเว้น ระยะเวลาการก่อตัว และการเปลี่ยนแปลงมิติ

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล, นาโนเทคโนโลยี, ซีเมนต์อุดคลองรากฟัน

¹ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

² ฝ่ายทันตสาธารณสุข รพ.สมเด็จพระยุพราชนครไทย จ.พิษณุโลก 65120

¹ Faculty of Dentistry, Naresuan University, Phitsanulok Province 65000

² Dental Public Unit, Nakornthai Crown Prince Hospital, Phitsanulok Province 65120

* Corresponding author, e-mail: mayurach_dt17@hotmail.com

Received: 30 September 2013; Accepted: 30 March 2014

Abstract

The objective of this study was to evaluate the physical properties of four zinc oxide eugenol root canal cements: Pulp Canal EWT, CU sealer, MU sealer and nano-zinc oxide eugenol.

Three samples of each root canal cements were determined for flowability, setting time, film thickness, dimensional change, solubility, and radiopacity test according to ISO standard 6876.

The results showed that flowability, solubility and radiopacity of four root canal cements were accordance the ISO standard. Setting time of Pulp Canal EWT, CU sealer, and MU sealer were accordance the ISO standard (30 min – 72 hours), but nano-zinc oxide eugenol had short setting time (25.67 min) below ISO standard. Film thickness revealed that nano-zinc oxide eugenol showed the best result with the thinness (0.03 mm) and other cements were in between the range of ISO standard. The dimensional change rate of Pulp canal EWT is the only one cement that conformed to the ISO standard.

According to the result of this study, nano-zinc oxide eugenol showed acceptable properties due to the ISO standard 6878 as same as others zinc oxide eugenol cements except setting time and dimensional change.

Keywords : Zinc oxide eugenol, nanotechnology, root canal cement

บทนำ

วัตถุประสงค์ของการอุดคลองรากฟันเพื่อให้วัสดุอุดคลองรากฟันปิดกันทางติดต่อระหว่างภายในและภายนอกคลองรากและแนบสนิทโดยตลอดกับผนังคลองรากฟันทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อแบคทีเรียที่อาจหลงเหลือในท่อเนื้อฟันเพิ่มจำนวนภายในคลองรากฟันหรือออกสู่เนื้อเยื่อปลายรากฟัน ซึ่งความล้มเหลวจากการรักษาคคลองรากฟันนี้โดยทั่วไปมีสาเหตุจากการขาดความแนบสนิทบริเวณปลายรากฟัน ดังนั้นหลายปีที่ผ่านมามีการพัฒนาวัสดุอุดเพื่อหวังเพิ่มคุณภาพของความแนบสนิทของวัสดุอุดคลองรากฟันกับผนังคลองรากฟันบริเวณปลายรากฟัน

ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์เป็นซีเมนต์ที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับใช้มาเป็นเวลานาน นอกจากนี้ ยังได้รับการพัฒนาคุณสมบัติอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 1931 เป็นต้นมา จนมาเป็นสูตรของกรอสแมน (Grossman's formula) ที่จัดว่าเป็นซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ซีเมนต์อุดคลองรากฟันในอุดมคติของ Grossman ที่กล่าวไว้ในปี 1988 [6] มีลักษณะดังนี้ คือ ให้ความแนบสนิทที่ไม่สามารถมีอากาศเข้าออกได้ (hermetic seal) มีการ

ยึดติดที่ดีระหว่างซีเมนต์กับผนังคลองรากฟัน วัสดุอุดคลองรากฟันมีความทึบรังสี (radiopaque) สามารถผสมและนำใส่เข้าในคลองรากฟันได้ง่าย ไม่เกิดการหดตัวขณะแข็งตัว ไม่ทำให้ฟันเปลี่ยนสี มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bacteriocidal effect) หรือไม่ส่งเสริม การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (bacteriostatic) แข็งตัวช้า เพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการทำงานไม่ละลายในน้ำเลี้ยงเนื้อเยื่อ (tissue fluid) ไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อรอบปลายราก และสามารถละลายได้ในตัวทำละลายทั่วไป ถ้าจำเป็นต้องรีดวัสดุอุดคลองรากฟันออก

ปัจจุบันเนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีได้มีการนำอนุภาคนาโนต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ทางด้านทันตกรรม อาทิการนำมาใช้เป็น ส่วนประกอบในนาโนดับลิวิเอมทีเอ (WMTA) โดยการเติมซีโอไลต์ (zeolite) และสตรอนเทียม (strontium) ที่มีอนุภาคนาโนขนาดเล็ก และปริมาณน้อยๆ เข้าไปเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเอ็มทีเอดั้งเดิมให้ดีขึ้น [17 – 19] ซึ่งให้ผลในเรื่องของเวลาการก่อตัวที่เร็วขึ้น และมีการละลายตัวในภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ [20] ในแง่ของผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนั้น ได้มีการศึกษาอนุภาคนาโนของควาเทอร์รี แอมโมเนียม โพลีเอทิลีน (quaternary ammonium polyethylenimine; QPEI)

ที่เติมลงไปในซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดดั้งเดิม ทำให้คุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น และนานขึ้น โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยนไป [4,13,10] ซึ่งประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนบางชนิดที่ก่อให้เกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากขึ้นนั้นเกิดจากพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคกับแบคทีเรียที่มีมากขึ้น [11,22] และพบว่าการเติมอนุภาคเงินขนาดนาโนลงในซีเมนต์อุดคลองรากฟันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนั้นทำให้ความหนืดของซีเมนต์ลดลงมีการไหลแผ่ที่ดีขึ้น [11]

Salma B. Abdo ในปี 2012 รายงานถึงผลของความแนบสนิทของกัตาเปอร์ซาร์ร่วมกับนาโนเอชเอซิลเลอร์ (Nano-HA sealer) ซึ่งเป็นวัสดุอุดคลองรากฟันที่มีการปรับปรุงสูตรด้วยการใช้ไฮดรอกซี - แอปพาไทต์คริสตัล อนุภาคนาโน (nano HA crystals) ขนาดอนุภาค 40-60 นาโนเมตร พบว่าวัสดุให้ความแนบสนิท (sealing ability) ที่ดีมีความพรุนในเนื้อวัสดุ น้อยหลังการก่อตัว แต่ไม่ได้มีความแตกต่างในแง่ของการเกิดการรั่วซึมที่ปลายรากของการอุดคลองรากฟัน ด้วยกัตาเปอร์ซาร์ร่วมกับนาโนเอชเอซิลเลอร์ จากการใช้วิธีการอุดคลองรากฟันร่วมกับ Resilon-Epiphaney sealer

ผงซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก เช่น อนุภาคนาโน (nano particle size) ได้มีการผลิตขึ้นมา และนำมาศึกษาคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเช่นเดียวกันว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและการก่อตัวของไบโอฟิล์ม (biofilm) ได้ [22] ซึ่งซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลักของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำอนุภาคนาโนชนิดต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในแง่ของการปรับปรุงคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดนาโนนั้นยังไม่มีผู้ศึกษาอย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจถึงผลของอนุภาคนาโนต่อคุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ โดยการใช้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นส่วนประกอบหลักเนื่องจากในปี ค.ศ. 1976 Grossman กล่าวว่า ซีเมนต์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จะทำให้การผสมซีเมนต์ง่าย ใช้เวลาในการผสมน้อยกว่า เมื่อผสมแล้วจะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) และมีการ

ไหลแผ่ที่ดีกว่า ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มคุณภาพของความแนบสนิทบริเวณปลายรากฟันได้ การลดขนาดอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบนั้นจะส่งผลดีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์แล้วนั้นผงซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนยังเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังได้กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นก่อนที่ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนจะถูกนำมาใช้ในทางคลินิกได้นั้น ควรต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานสากลโดย ISO standard No.6876 (International Standard 6876 : Dental root canal sealing materials) หรือ ANSI/ADA specification No.57-Endodontic Sealing Material (American National Standard/American Dental Association Specification) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับสำหรับการทดสอบซีเมนต์ และมีวิธีการทดสอบและกำหนดค่ามาตรฐานใกล้เคียงกัน การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดปกติที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยและซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ชนิดนาโน ได้แก่ การไหลแผ่ ระยะเวลาทำงาน ระยะเวลาก่อตัว ความหนาของฟิล์ม การเปลี่ยนแปลงมิติ การละลายตัว และความที่บ่งชี้ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล ISO 6876

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เตรียมส่วนผสมของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนโดยผสมส่วนประกอบตามสูตรของ Grossman โดยส่วนผสมประกอบไปด้วยซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) อนุภาคนาโนขนาดอนุภาคเฉลี่ย 20-40 นาโนเมตร ร้อยละ 42 สเตย์บิลท์เรซิน (Staybelite resin) ร้อยละ 27 บิทมัสซัลคาร์บอเนต (Bismuth subcarbonate) ร้อยละ 15 บิทมัสซัลเฟต (Bismuth sulfate) ร้อยละ 15 โซเดียมบอเรต (Sodium borate) ร้อยละ 1 และส่วนเหลวมีส่วนประกอบคือ ยูจีนอล (Eugenol) ส่วนซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีส่วนประกอบต่าง ๆ ตามที่ผู้ผลิตแจ้งแสดงไว้ดังตารางที่ 1

การผสมซีเมนต์อุดคลองรากฟันโดยผสมส่วนผสมกับส่วนเหลวของพัลป์คานัลอีดับบลิวที (Pulp Canal EWT) (Sybron Endo/Kerr; Orange, California) และ

ซียูซีลเลอร์ (CU sealer®) ตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตกำหนด แต่เอ็มยูซีลเลอร์ (MU sealer®) ซึ่งคือออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนไม่มีอัตราส่วนผสมที่ชัดเจน จึงได้ทำการทดสอบหาอัตราส่วนผสมระหว่างส่วนผงกับส่วนเหลวของซีเมนต์อุดคลองรากฟันทั้งสองชนิดที่เหมาะสม ก่อนเริ่มการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 6876 โดยอัตราส่วนผสมระหว่างส่วนผงกับส่วนเหลวที่เหมาะสมคือ เมื่อปริมาณส่วนผงและส่วนเหลวผสมกันแล้วซีเมนต์อุดคลองรากฟันที่ได้มีลักษณะเป็นครีม ซึ่งเมื่อยกเครื่องมือผสมซีเมนต์ขึ้นแล้วสามารถยึดได้ประมาณ 1 นิ้ว โดยไม่ขาด ดังนั้นจึงได้อัตราส่วนผสมของซีเมนต์อุดคลองรากฟันทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อุดคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบตามข้อกำหนดของ ISO 6876 จำนวนตัวอย่างที่นำมา

ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อุดคลองรากฟันแต่ละชนิดมีจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่างต่อซีเมนต์อุดคลองรากฟัน นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 ทดสอบการแจกแจงข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ใช้สถิติเชิงพรรณนาแสดงค่ากลางของการทดสอบซีเมนต์อุดคลองรากฟันในวิธีการทดสอบต่างๆ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง กลุ่มในแต่ละวิธีการทดสอบ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance ; ANOVA) ในกรณีที่ตัวอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ถ้าผลของการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ด้วยการทดสอบเชฟเฟ (Scheffe's test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นปกติใช้ Kruskal-Wallis test

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของซีเมนต์อุดคลองรากฟันทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของซีเมนต์	ส่วนประกอบของส่วนผง	ส่วนประกอบของส่วนเหลว
พัลป์คานัลอีดีดับลิวี่	Zinc oxide ร้อยละ 34-40	Oil of Clove ร้อยละ 78-80
	precipitated silver ร้อยละ 25-30	Canada Balsam ร้อยละ 20-22
	Oleo resins ร้อยละ 30-16	
	Thymol iodide ร้อยละ 11-12	
เอ็มยูซีเมนต์*	Zinc oxide	Oil of Clove
	Staybelite resin	
	Bismuth subcarbonate	
	Barium sulfate	
	Sodium borate anhydrous	

ชนิดของซีเมนต์	ส่วนประกอบของส่วนผสม	ส่วนประกอบของส่วนเหลว
ซีเมนต์ซีลเลอร์	Zinc oxide ร้อยละ 42 Staybelite resin ร้อยละ 27 Bismuth subcarbonate ร้อยละ 15 Barium sulfate ร้อยละ 15 Sodium borate anhydrous ร้อยละ 1	Oil of Clove
ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโน	Zinc oxide nano particle ร้อยละ 42 Staybelite resin ร้อยละ 27 Bismuth subcarbonate ร้อยละ 15 Barium sulfate ร้อยละ 15 Sodium borate anhydrous ร้อยละ 1	Eugenol

* ส่วนประกอบของเอมียู ซีลเลอร์ผู้ผลิตเปิดเผยเพียงส่วนประกอบหลักและว่าอ้างอิงจากสูตรของกรอสแมน และไม่ได้แจกแจงปริมาณของส่วนประกอบแต่ละชนิด

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนผสมของซีเมนต์อุดคลองรากฟันทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของซีเมนต์	ปริมาณส่วนผสม	ปริมาณส่วนเหลว
ฟิลิปคาแนลอีดีบิลิตี้	1 ช้อนบริโภคผู้ผลิต (0.183 กรัม)	1 หยด (0.06 มิลลิลิตร)
ซีเมนต์ซีลเลอร์	0.17 กรัม	0.04 มิลลิลิตร
เอมียูซีลเลอร์	0.17 กรัม	0.04 มิลลิลิตร
ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโน	0.185 กรัม	0.04 มิลลิลิตร

วิธีการทดสอบการไหลแผ่

ผสมซีเมนต์ตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 แล้วหยดลงกลางแผ่นแก้วขนาด 40 x 40 x 5 มิลลิเมตร วางแผ่นแก้วอีกแผ่นทับลงบนซีเมนต์ หลังจากผสมแล้ว 180±10 วินาที ซีเมนต์จะถูกกดด้วยตุ้มน้ำหนัก 120 กรัม เป็นเวลา 10 นาที โดยทดสอบการไหลแผ่ที่สภาวะอุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±5 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์ที่แผ่เป็นวงหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยใช้เวอร์เนียระบบดิจิตอล จำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 30 วินาที และหาค่าเฉลี่ย

วิธีการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว

ผสมซีเมนต์ใส่ลงในแบบหล่อปูนพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตรและมีความสูง 1 มิลลิเมตร ที่วางบนแผ่นแก้ว หลังจาก 120±10 วินาที นำไปวางบนแท่งโลหะกว้าง 8 x 20 x 10 มิลลิเมตร และเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 95 ทดสอบโดยใช้หัวกดหน้าตัดแบนกดในแนวตั้งลงบนผิวของซีเมนต์ บันทึกเวลาเป็นนาทีตั้งแต่หลังผสมจนกระทั่ง เวลาที่หัวกดไม่ทำให้เกิดรอยกดบนผิวของซีเมนต์เป็นระยะเวลาก่อตัว

วิธีการทดสอบความหนาของฟิล์ม

ผสมซีเมนต์หยดลงกลางแผ่นแก้วแผ่นแรก หลังจากผสมแล้ว 3 นาที วางแผ่นแก้วแผ่นที่สอง พร้อมกับใส่น้ำหนัก 150 นิวตัน ทดสอบความหนาของฟิล์มที่ สภาวะอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 50 ± 5 และหลังจากผสมซีเมนต์เป็นเวลา 10 นาที วัดความหนาทั้งหมดของแผ่นแก้วที่ซ้อนทับกับซีเมนต์ โดยใช้เวอร์เนียระบบดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง หน่วยเป็นมิลลิเมตร คำนวณหาความหนาของฟิล์มของซีเมนต์ โดยลบกับความหนาของแผ่นแก้วซ้อนทับกันโดยที่ไม่มีซีเมนต์ที่วัดไว้ก่อนทดสอบ

วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติ

ผสมซีเมนต์โดยเติมน้ำ 0.02 มิลลิลิตร โดยผสมให้เต็มในแบบหล่อที่วางระหว่างแผ่นแก้วซึ่งกันด้วยแผ่นพลาสติกทั้งสองด้าน ยึดไว้ด้วยกันให้แน่น 5 นาที นำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลา 3 เท่า ของระยะเวลาก่อตัวที่ได้จากการทดสอบ หาระยะเวลาก่อตัวมาก่อนแล้ว ขัดผิวส่วนบน และล้างให้เรียบด้วยกระดาษทรายน้ำ นำซีเมนต์แช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน แล้ววัดความสูง อีกครั้ง จึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงมิติ

วิธีการทดสอบการละลายตัว

ผสมซีเมนต์โดยเติมน้ำ 0.02 มิลลิลิตร ผสมให้เต็ม ในแบบหล่อ กันด้วยแผ่นพลาสติกทั้งสองด้าน ยึดไว้ด้วยกันให้แน่น 5 นาที จำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 95 เป็นเวลามากกว่าเท่าครึ่งของ

ระยะเวลาก่อตัว ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างทั้งสองชิ้น รวมกันและชั่งน้ำหนักถาดแก้วสำหรับทดสอบ โดยให้ความความละเอียด 0.001 กรัม วางชิ้น ตัวอย่างทั้งสองชิ้นในถาดแก้วโดยชิ้นตัวอย่างทั้งสองชิ้นไม่สัมผัสกัน เติมน้ำลงในถาดแก้ว 50 มิลลิลิตร และนำไปเก็บในตู้เก็บ 24 ชั่วโมง ก่อนนำชิ้นตัวอย่างทั้งสองออกจากถาดแก้ว ล้างชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำ 2.3 มิลลิลิตร โดยให้น้ำไหลลงไปในถาดแก้ว จากนั้นนำถาดแก้วไประเหยน้ำออกจนหมดในตู้อบอุณหภูมิ 110 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำระเหยจนหมดแล้วนำถาดแก้วมาวางให้เย็นลงในเครื่องวัดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักถาดแก้วที่แห้ง และนำค่าได้ไปคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

วิธีการทดสอบความทึบรังสี

ผสมซีเมนต์ลงในแบบหล่อรูปวงแหวนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ± 0.1 มิลลิเมตรและสูง 1 ± 0.1 มิลลิเมตร โดยมีแผ่นกระดาษรองข้างใต้และปิดทับส่วนบนไว้วางชิ้น ตัวอย่างบนแผ่นฟิล์มพร้อมกับ aluminum step wedge ที่มีแผ่นกระดาษรองข้างใต้เช่นกัน ถ่ายภาพรังสีโดยระยะทางจากแผ่นฟิล์มและจุดโฟกัสของรังสีเท่ากับ 300 มิลลิเมตร ล้างฟิล์มด้วยเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ แล้วนำภาพถ่ายรังสีวัดความทึบรังสีด้วยเครื่องวัดความทึบรังสี

ผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการไหลแผ่ ระยะเวลาทำงาน ระยะเวลาก่อตัว ความหนาของฟิล์ม การเปลี่ยนแปลงมิติ การละลายตัว และความทึบรังสีของ ซีเมนต์แต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณส่วนผงต่อส่วนเหลว ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการไหลแผ่ ระยะเวลาก่อตัว และความหนาของฟิล์มของซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของซีเมนต์	การไหลแผ่ (มิลลิเมตร) Mean $\pm$ SD	ระยะเวลาก่อตัว (นาทีก) Mean $\pm$ SD	ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร) Mean $\pm$ SD
ฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที	22.97 $\pm$ 0.40 ^a	131.67 $\pm$ 2.52 ^a	0.04 $\pm$ 0.01 ^a
ซียูซีลเลอร์	27.01 $\pm$ 0.39 ^c	80.00 $\pm$ 1.00 ^b	0.07 $\pm$ 0.01 ^b
เอ็มยูซีลเลอร์	20.96 $\pm$ 0.16 ^b	67.33 $\pm$ 1.53 ^c	0.07 $\pm$ 0.00 ^b
ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซินดีนาโน	27.68 $\pm$ 0.68 ^c	25.67 $\pm$ 0.58 ^d	0.03 $\pm$ 0.01 ^a

ตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 6876 กำหนดให้ การไหลแผ่มากกว่าหรือเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ระยะเวลาก่อตัวเท่ากับ 30 นาที – 72 ชั่วโมง และความหนาของฟิล์มน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 ไมโครเมตร

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), เปรียบเทียบ ระหว่างซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), เปรียบเทียบ ระหว่างซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเปลี่ยนแปลงมิติ การละลายตัว และความทึบรังสีของซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของซีเมนต์	การเปลี่ยนแปลงมิติ (ร้อยละ) Mean $\pm$ SD	การละลายตัว (ร้อยละ) Mean $\pm$ SD	ความทึบรังสี (OD) Mean $\pm$ SD
ฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที	- 0.58 $\pm$ 0.17 ^a	0.35 $\pm$ 0.04 ^a	0.737 $\pm$ 0.02 ^a
ซียูซีลเลอร์	2.68 $\pm$ 0.53 ^b	0.79 $\pm$ 0.06 ^b	0.730 $\pm$ 0.01 ^a
เอ็มยูซีลเลอร์	0.22 $\pm$ 0.09 ^c	0.57 $\pm$ 0.09 ^{a, b}	0.653 $\pm$ 0.04 ^b
ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซินดีนาโน	1.20 $\pm$ 0.18 ^d	0.80 $\pm$ 0.17 ^b	0.650 $\pm$ 0.03 ^b

ตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 6876 กำหนดให้ การเปลี่ยนแปลงมิติน้อยกว่าร้อยละ 1.0 เมื่อเปลี่ยนแปลงมิติแบบหดตัวหรือน้อยกว่าร้อยละ 0.1 เมื่อเปลี่ยนแปลงมิติแบบขยายตัว การละลายตัวน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 3 และความทึบ รังสีมากกว่าหรือเท่ากับ aluminum ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), เปรียบเทียบ ระหว่างซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), เปรียบเทียบ ระหว่างซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด

วิจารณ์และสรุปผล

การเลือกซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการให้ซีเมนต์ที่เป็นตัวแทนของซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบหลักคือ ซิงค์ออกไซด์ที่ผลิตจากต่างประเทศ ได้แก่ ฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที และที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่ ซียูซีแอลเออร์ และเอ็มยูซีแอลเออร์ ส่วนซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนนั้นได้ผสมขึ้นตามสูตรของ Grossman โดยใช้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งคาดหวังว่าจะปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของซีเมนต์

การทดสอบการไหลเผยพบว่าซิงค์ออกไซด์-ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีการไหลแผ่ใกล้เคียงกับซียูซีแอลเออร์เอ็มยูซีแอลเออร์มีการไหลแผ่น้อยที่สุด การไหลแผ่ของ ซีเมนต์ที่เหมาะสมจะทำให้ซีเมนต์สามารถเข้าไปในคลองรากย่อยเพื่อปิดทางติดต่อกับเนื้อเยื่อรอบปลายรากได้ การไหลแผ่ที่มากเกินไป อาจทำให้ซีเมนต์ไหลเกินไป นอกปลายราก และอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อ เนื้อเยื่อรอบ ๆ ปลายราก [23] ในปี ค.ศ. 1976 Grossman คาดว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการไหลแผ่ของซีเมนต์ คือ อัตราส่วนผสมระหว่างส่วนผง และส่วนเหลวของซีเมนต์ และระยะเวลาการแข็งตัว จากการศึกษาของ Camps และคณะ [5] เปรียบเทียบความหนืดของซีเมนต์ 3 แบบ คือ แบบเหลว (liquid) แบบกลาง (medium) และแบบหนา (thick) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของส่วนผงต่อส่วนเหลวเพิ่มขึ้นจะทำให้การไหลแผ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และ Grossman [8] กล่าวว่า การไหลแผ่สัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของส่วนประกอบ โดยขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าทำให้ผสมซีเมนต์ได้ง่ายกว่า ใช้ระยะเวลาผสมน้อยกว่า และซีเมนต์ที่ถูก ผสมแล้วจะค่อนข้างเนียนกว่าและไหลแผ่ได้ดีกว่าการไหลแผ่ยังสัมพันธ์กับอายุของยูจีนอล และการศึกษาของ Mendonca และคณะ [12] ทำการทดสอบโดยใช้ยูจีนอลที่เก็บไว้ในระยะเวลาต่างกัน พบว่า ยูจีนอลเก่าจะมีการไหลแผ่มากขึ้น การศึกษานี้ใช้ยูจีนอลชนิดใหม่และ เป็นยูจีนอลชนิดเดียวกันตลอดการศึกษา

มาตรฐานการทดสอบสากล ISO 6876 แบ่งการ ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวออกเป็น 2 วิธี คือ

ซีเมนต์ที่ใช้ความชื้นและไม่ใช้ความชื้นในการแข็งตัว ซึ่งซีเมนต์ทุกชนิดในงานวิจัยนี้เป็นซีเมนต์ที่ใช้ความชื้นในการแข็งตัว ดังนั้นในขั้นตอนการทดสอบจึงเหมือนกัน ซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลซีเมนต์ ชนิดนาโนมีระยะเวลาการก่อตัวน้อยที่สุด คือ 25.67 นาที เมื่อนำไปใช้อุดคลองรากฟันที่มีหลายคลองรากหรืออุดคลองรากฟันหลายซี่ อาจทำให้ไม่สามารถ อุดได้ทันด้วยการผสมซีเมนต์เพียงครั้งเดียวก็จะทำให้ไม่สะดวกหรือทำงานได้ยาก อาจปรับปรุงอัตราส่วนประกอบ โดยการเติมโซเดียมบอเรทตามการศึกษาของกรูญ เลี้ยวศรีสุข [1] ซึ่งพบว่า การเติมโซเดียมบอเรทจะทำให้การก่อตัวช้าลง ในการทดสอบนี้ได้ค่าระยะเวลาก่อตัวของเอ็มยูซีแอลเออร์คือ 60.73 นาที ซึ่งเป็นไปตามผู้ผลิตระบุ คือ 60.1 นาที [2] ส่วนค่าระยะเวลาก่อตัวของฟัลป์คาแนลอี ดับบลิวทีคือ 2 ชั่วโมง 11.67 นาที ซึ่งนานกว่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดคือน้อยกว่า 2 ชั่วโมง และค่าระยะเวลาก่อตัวของซียูซีแอลเออร์คือ 1 ชั่วโมง 20 นาที ซึ่งเร็วกว่าที่ผู้ผลิตกำหนด คือ 49 ชั่วโมง 38 นาที [2] ในกรณีนี้ซีเมนต์มีระยะเวลาการก่อตัวมากมีแนวโน้มที่จะมีค่าการไหลแผ่ที่มากกว่าโดยเฉพาะในคลองรากฟันซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าบนแผ่นแก้วผสมซีเมนต์ ดังนั้นการที่ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีค่าการไหลแผ่มากที่สุดกลับมีระยะเวลาแข็งตัวที่สั้นมาก อาจเป็นเพราะขนาดอนุภาคที่เล็กลงจาก เดิมของซิงค์ออกไซด์เป็นปัจจัยสำคัญ

ซีเมนต์ที่มีความหนาของแผ่นฟิล์มมากจะมีผลต่อความแนบสนิทของกัตตาเปอร์ชากับผนังคลองรากฟัน และจะเป็นอุปสรรคต่อการใส่วัสดุอุดแท่งเอกให้ถูกต้อง ตามความยาวทำงานที่ต้องการเมื่ออุดด้วยวิธีแลทเธอรัลคอนเดนเซนเซชัน เนื่องจากทำให้ใส่กัตตาเปอร์ชาแท่งเอกเข้าสู่ตำแหน่งเดิมได้ยาก [15] ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีความหนาของแผ่นฟิล์มน้อยน่าจะทำให้มีความแนบสนิทมาก อาจจะเกิดการรั่วซึมบริเวณผนังคลองรากฟันกับกัตตาเปอร์ชาจึงน้อยลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Higginbotham TL [9] พบว่า ความหนาแผ่นฟิล์มไม่มีความสัมพันธ์กับความแนบสนิทของวัสดุอุด คลองราก การลดขนาดองค์ประกอบของซีเมนต์ให้เป็นเล็กถึงอนุภาคนาโนในการอุดคลองรากฟันในนาโนเอชเอซีแอลเออร์ทำให้วัสดุให้ความแนบสนิทที่ดี แต่ไม่ได้มีความ

แตกต่างในแง่ของการเกิดการรั่วซึมที่ปลายรากจากการใช้ซีเมนต์ที่มีขนาดอนุภาคไม่โครปกติที่ใช้ทั่วไป [21] ฉะนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการรั่วซึมระดับจุลภาคของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนเมื่อใช้ในการอุดคลองรากฟันต่อไป

Orstavik และคณะ [21] พบว่า กลอสแมน - ซีเมนต์ฟัลป์คาแนลซีเมนต์และทิวบลิซัล ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นซิงค์ออกไซด์ยูจีนอล มีการหดตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.3 ถึงร้อยละ 1 โดยฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที่มี การหดตัวร้อยละ 0.582 Camps และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนส่วนผงต่อส่วนเหลวของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติ โดยนำซีเมนต์มาทดสอบ 2 สูตร คือ สูตรของ Rickert ได้แก่ คอร์ตติโซมอล (Cortisolmol) และสูตรของ Grossman ได้แก่ ฟัลป์คาแนลซีเมนต์อีดับบลิวที่มีโดยผสมที่อัตราส่วนที่ให้ความหนืดของซีเมนต์แตกต่างกัน 3 แบบ พบว่า ฟัลป์คาแนลซีเมนต์อีดับบลิวที่อัตราส่วนของผงต่อน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติ เนื่องจากฟัลป์คาแนลซีเมนต์อีดับบลิวที่มีส่วนประกอบของสเตย์บีไลท์เรซิน ซึ่งแตกต่างจากคอร์ตติโซมอลที่มีส่วนประกอบเป็นเรซิน ดังนั้นส่วนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติคือ สเตย์บีไลท์เรซิน ซึ่งถ้ามีการเติมสเตย์บีไลท์เรซินในส่วนผงจะทำให้เกิดความคงตัวภายหลังการก่อตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติน้อยลง จากการทดสอบนี้ พบว่า ซิยูซิลเลอร์ ซิงค์ออกไซด์ ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนและเอ็มยูซิลเลอร์มีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติแบบขยายตัว ยกเว้นฟัลป์คาแนลอีดับบลิวที่มีการเปลี่ยนแปลงมิติแบบหดตัว ซึ่งซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีค่าการเปลี่ยนแปลงมิติน้อยกว่าซิยูซิลเลอร์ โดยการขยายตัวของซีเมนต์ภายหลังการก่อตัวอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อรอบ ๆ ปลายรากได้ในกรณีที่เมื่ออุดคลองรากฟันแล้วมีซีเมนต์อยู่บริเวณปลายรากฟันพอดี การหดตัวของซีเมนต์ที่เกิดขึ้นภายหลังการก่อตัวทำให้เกิดการรั่วซึมระหว่างวัสดุอุดคลองรากฟันกับผนังคลองรากฟัน ซึ่งการไหลซึมผ่านของของเหลวนี้เป็นจุดสำคัญของการอักเสบรอบปลายรากที่ยังคงอยู่ได้ โดยแบคทีเรียสามารถผ่านไปสู่เนื้อเยื่อปริทันต์รอบ ๆ ปลายรากฟันได้ ถ้าฟันซี่นั้นไม่มีการปิดสนิทบริเวณปลายราก

ฟันจนเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้การรักษารากฟันไม่ประสบความสำเร็จได้

การศึกษาปฏิกิริยาการก่อตัวทางเคมีของซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ พบว่า ปฏิกิริยาการก่อตัวต้องอาศัยความชื้นเป็นส่วนประกอบสำคัญซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วจะประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ที่เหลือยึดอยู่กับซิงค์ยูจีนอล และยูจีนอลอิสระบางส่วน ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นแบบสามารถย้อนกลับได้ (reversible) และเมื่อซิงค์ยูจีนอลละลายได้ในน้ำ ดังนั้นซิงค์ยูจีนอลสัมผัสกับความชื้นจึงสลายตัวเป็นยูจีนอลและซิงค์ออกไซด์ จึงทำให้ซีเมนต์ละลายตัวได้ เช่น เมื่อสัมผัสกับของเหลวเนื้อเยื่อ (tissue fluid) [14] ค่าการละลายตัวตามมาตรฐาน ISO 6876 คือ ไม่เกิน ร้อยละ 3 จากการทดสอบนี้พบว่า ซีเมนต์ทุกชนิดผ่านมาตรฐาน ISO 6876 ทั้งสิ้น โดยซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโน และซิยูซิลเลอร์มีค่าการละลายตัวสูงคือ ร้อยละ 0.797 และร้อยละ 0.787 ตามลำดับ

ความทึบรังสีของซีเมนต์ในช่วงแรกได้จากการเติมเงิน (silver) เป็นส่วนประกอบของส่วนผง แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1958 Grossman ได้มีการเปลี่ยนส่วนประกอบจากเงินเป็นแบเรียมซัลเฟต (barium sulfate) และบิทัมสับคาร์บอเนทแทน เพื่อไม่เกิดฟันเปลี่ยนสีภายหลังการอุดคลองรากฟัน จากการทดสอบนี้พบว่า ความทึบรังสีของซีเมนต์ทุกชนิดที่นำมาทดสอบผ่านค่ามาตรฐาน ISO 6876 ที่กำหนดว่าให้มีความทึบของรังสีไม่น้อยกว่าความทึบรังสีของอลูมิเนียมที่มีความหนา 3 มม. ซึ่งทำให้สามารถประเมินคุณภาพของการอุด การละลายตัว และบอกตำแหน่งซีเมนต์เมื่อเข้าไปอยู่ในคลองรากฟันและเนื้อเยื่อได้ ซึ่งซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ใช้บิทัมสับคาร์บอเนทเป็นสารทึบรังสี โดยมีอัตราส่วนผสมในส่วนผงร้อยละ 15

Grossman L [8] กล่าวว่าขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ โดยขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า เมื่อทำการผสมแล้วจะทำให้ผสมได้ง่ายกว่า ได้พื้นผิวที่เรียบลื่นมากกว่าและการไหลแผ่ที่ดีกว่า ดังนั้น การที่ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเล็กกว่าซีเมนต์ที่นำมาทดสอบอีก 3 ชนิด จึงคาดว่าน่าจะส่งผลกับการทดสอบคุณสมบัติ

ด้านการไหลแผ่ระยะเวลาการก่อตัว ความหนาของแผ่นฟิล์ม และการละลายตัว อย่างไรก็ตามแม้คาดหวังว่าการลดขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ให้เล็กลงจนถึงอนุภาคนาโนแล้วจะส่งผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพให้ดีขึ้น แต่จากผลการศึกษาชิ้นนี้ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ในซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนไม่ได้ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพดังที่ทดสอบดีขึ้นอย่างแตกต่างจากซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคไมโครในซียูลเลอร์ เอ็มยูซิลเลอร์ และพัลป์คาแนลอีดับบลิวที

ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนมีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ISO 6876 เช่นเดียวกับซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นคุณสมบัติด้านระยะเวลาการก่อตัวที่เร็วและการเปลี่ยนแปลงมิติแบบขยายตัว ซึ่งควรมีการปรับปรุงส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนโดยปรับเพิ่มอัตราส่วนประกอบส่วนผงของโซเดียมบอโรเฟอเพื่อให้ระยะเวลาการก่อตัวช้าลง และปรับเพิ่มอัตราส่วนประกอบส่วนผงของสเตย์บีไลท์เรซินเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงมิติหลังการก่อตัว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ISO 6876 ทุกประการต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงอัตราส่วนประกอบของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนและทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876 โดยเพิ่มอัตราส่วนประกอบของโซเดียมบอโรเฟอและสเตย์บีไลท์เรซินในส่วนผงเพื่อปรับระยะเวลาการก่อตัวและการเปลี่ยนแปลงมิติของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนให้เป็นไปตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876

2. การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนเท่านั้น ยังมิได้ทำการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดนาโนในด้านความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน (biocompatibility) และการรั่วซึมระดับจุลภาคเมื่อนำมาใช้อุดคลองรากฟันในห้องปฏิบัติการ

เพื่อนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเลือกใช้ซีเมนต์ที่มีคุณภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. การุญ เลี้ยวศรีสุข. การปรับปรุงซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ตามมาตรฐานสากล ISO 3107:1988 (E) ประเภท 3 ชั้น 1 เพื่อใช้เป็นวัสดุบูรณะชั่วคราว. วารสารทันตแพทยสมาคมแห่งประเทศไทย 2543; 52(2): 126-131.
2. สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร, วีระวัฒน์ สัตยานุรัตน์ และวิภา วิชิตจารุกุล. การเปรียบเทียบการรั่วซึมบริเวณปลายรากของจุพาสีลเลอร์กับซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์ชนิดอื่นในการอุดคลองรากฟัน. วารสารทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543; 23: 73-82.
3. ศลักษณา กาญจนะวิสิต, ปิยธิดา ธรรมจาริก, วิชญ์ กาญจนะวิสิต. การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของเอ็มยูซิลเลอร์และซีเมนต์ชนิดต่างๆ. วิทยาศาสตร์ทันตแพทยศาสตร์มหิดล 2544; 21: 101-109.
4. Beyth N, Kesler Shvero D, Zaltsman N, Hourihaddad Y, Abramovitz I, et al. Rapid Kill—Novel Endodontic Sealer and Enterococcus faecalis. PLoS ONE 2013; 8(11): e78586. doi:10.1371/journal.pone.0078586.
5. Camps J, Pommel L, Bukiet F, About I. Influence of the powder/liquid ratio on the properties of zinc oxide-eugenol-based root canal cements. Dental Materials 2004;20(10): 915-923.
6. Cohen, S., and Hargreaves, K. M., Pathway of the Pulp (9th ed). India: Elsevier; 2006.
7. Grossman L. An improved root canal cement. Journal American Dental Association 1958; 56: 381-385.
8. Grossman L. Physical properties of root canal cements. Journal of Endodontics 1976; 6(2): 166-175.

9. Higginbotham TL. A comparative study of physical properties of five commonly used root canal cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1967; 24: 89-101.
10. I. Yudovin-Farber, N. Beyth, A. Nyska, E. I. Weiss, J. Golenser, and A. J. Domb. Surface characterization and biocompatibility of restorative resin containing nanoparticles. *Biomacromolecules* 2008;9(11): 3044–3050.
11. Kishen, A., Shi, Z., Shrestha, A. & Gee, K.. An Investigation on the Antibacterial and Antibiofilm Efficacy of Cationic Nanoparticulates for Root Canal Disinfection. *Journal of Endodontics* 2008; 34(12): 1515-1520.
12. Mendonca SC, de Carvalho Junior JR, Guersoli DM, Pecora JD, de Sousa-Neto MD. In vitro study of the effect of aged eugenol on the flow, setting time and adhesion of Grossman root canal cement. *Brazil Dental Journal* 2000;11(2): 71-78.
13. N. Beyth, Y. Hour-Haddad, L. Baraness-Hadar, I. Yudovin-Farber, A. J. Domb, and E. I. Weiss. Surface antimicrobial activity and biocompatibility of incorporated polyethylenimine nanoparticles. *Biomaterials* 2008; 29(31): 4157– 4163.
14. O'Brian W. Dental Materials and their selection. Quintessence publishing corporation 2002; 399(411): 4.
15. Ortavik D. Physical properties of root canal cements: measurement of flow, working time, and compressive strength. *International Endodontics Journal* 1983;16(3): 99-107.
16. Orstavik D, Nordahl I, & Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal cement materials. *Dental Materials* 2001;17(6): 512-519.
17. Saghiri MA, Asgar K, Lotfi M, Garcia-Godoy F. Nanomodification of mineral trioxide aggregate for enhanced physiochemical properties. *Int Endod J* 2012; 45:979-88.
18. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, Lotfi M, Asatourian A, Ahmadi H. Push-out bond strength of a nano-modified mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol* 2013; 29: 323-7.
19. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Asatourian A, Lotfi M, Banava S, Khezri-Boukani K. Effect of pH on compressive strength of some modification of mineral trioxide aggregate. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2013; 18: e714-20.
20. Saghiri MA, Godoy FG, Gutmann JL, Lotfi M, Asatourian A, Sheibani N, Elyasi M. The effect of pH on solubility of nano-modified endodontic cements. *J Conserv Dent* 2014;17:13-7.
21. Salma B. Abdo, Aziza Al Darrat, Sam'an Malik Masudi, Norhayati Luddin, Adam Husien. Sealing ability of gutta-percha/Nano HA versus Resilon/Epiphany after 20 months using an electrochemical model – an in vitro study. *Braz J Oral Sci* 2012;11(3):387-391.
22. Shrestha, A., Zhilong, S., Koon, N. & Kishen, A.. Nanoparticulates for Antibiofilm Treatment and Effect of Aging on Its Antibacterial Activity. *Journal of Endodontics* 2010; 36(6): 1030- 1035.
23. Weisman MI. A study of the flow rate of ten root canal cements. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics* 1970; 29(2): 255-261.