ว ทันต จุฬาฯ 2551;31:145-58
CU Dent J. 2008;31:145-58

บทวิทยาการ
Original Article

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทผสมบิสมัตออกไซด์เปรียบเทียบกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

ศิริขวัญ ศิริชัยวงศ์สกุล ท.บ.[1]
อัญชนา พานิชอัตรา ท.บ., M.S., Ph.D.[2]

[1]นิสิตปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาเอ็นโดดอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทผสมกับบิสมัตออกไซด์ และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

วัสดุและวิธีการ วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและขนาดอนุภาคของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสมัตออกไซด์ และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ โดยใช้เครื่องเอ็กซเรย์อนาไลติคัลไมโครสโคปโพรบ และเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จากนั้นวัดความเป็นกรด-เบส ทุก 1 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้มาตรความเป็นกรด-เบส ที่มีเทมเพอร์-เรเจอร์คอมเพนเสทอิเล็กโทรด วัดความทึบรังสีของวัสดุ โดยนำมาเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมสเต็ปเวดจ์ ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001) ส่วนเวลาแข็งตัววัดตามคำแนะนำของสมาคมวิจัยวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา ภายใต้มาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001) ความทนแรงอัดและความสามารถในการละลายวัดตามไอเอสโอ 9917-1(2003) และมาตรฐานเอดีเอหมายเลข 30 ตามลำดับ วิเคราะห์ผลการทดลองใช้สถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและสองทาง และการทดสอบที

ผลการศึกษา ส่วนประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค และลักษณะสัณฐานวิทยาของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท ผสมกับบิสมัตออกไซด์คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ความทึบรังสีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสมัตออกไซด์มีค่ามากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 และ 2 ผสมกับบิสมัต-ออกไซด์มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 12.5 12.5 และ 12.6 ที่เวลา 23 24 และ 16 นาที ตามลำดับ

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมกับบิสมัตออกไซด์จะมีเวลาเริ่มต้นแข็งตัว และเวลาแข็งตัวเต็มที่น้อยสุด นอกจากนี้ยังมีความทนแรงอัดมากที่สุดหลังจาก 1 วัน (37.027 เมกกะปาสคาล) แต่ไวท์-โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความทนแรงอัดมากที่สุดหลังจาก 21 วัน (449.686 เมกกะปาสคาล) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตัวอย่างทั้งหมดในการทดสอบสภาพการละลายได้ที่ 1 7 และ 21 วัน ($p > .05$)

สรุป พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสมัตออกไซด์ และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกัน

(ว ทันต จุฬาฯ 2551;31:145-58)

คำสำคัญ: *คุณสมบัติทางกายภาพ; บิสมัตออกไซด์; พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย; ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ; ส่วนประกอบทางเคมี*

บทนำ

ฟันที่ต้องได้รับการรักษาทางศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ (surgical endodontic treatment) ซึ่งต้องมีการตัดปลายรากฟัน (apicoectomy) มักจะต้องมีการใส่วัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน (retrograde filling) ร่วมด้วยเสมอ[1-3] มิเนอรัล-ไตรออกไซด์แอกกริเกต หรือ เอ็มทีเอ (Mineral Trioxide Aggregate; MTA) ซึ่งเป็นวัสดุบูรณะตัวใหม่ที่พัฒนามาจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland cement) เพื่อใช้เป็นวัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน[4-6] มี 2 รูปแบบ คือ สีเทา (gray version) และสีขาว (white version)[7,8] ทั้ง 2 รูปแบบมีส่วนประกอบหลักที่คล้ายกัน ได้แก่ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ร้อยละ 75 บิสมัตออกไซด์ (Bismuth oxide; Bi_2O_3) ร้อยละ 20 และยิปซัมร้อยละ 5

ในปัจจุบันนิยมนำเอ็มทีเอมาใช้เป็นวัสดุในงานรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์มากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุตัวอื่นหลายประการ เช่น มีค่าความเป็นกรด-เบส 12.5 ใกล้เคียงกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide; $Ca(OH)_2$)[4,5,9-24] และยังกระตุ้นให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue formation)[25] อย่างไรก็ตามเอ็มทีเอยังมีข้อเสีย คือ มีเวลาแข็งตัวนาน ใช้งานยาก และราคาที่ค่อนข้างแพง[26]

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ซึ่งเป็นต้นแบบของเอ็มทีเอนั้น มีไฮดรอลิกแคลเซียมซิลิเกต (hydraulic calcium silicate) เป็นส่วนประกอบหลัก ปัจจุบันจึงมีการนำเอาพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาเป็นทางเลือกหนึ่งแทนเอ็มทีเอ เนื่องจากราคาไม่แพง แต่เนื่องจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์นั้น มีค่าความทึบรังสี (radiopacity) น้อย จึงจำเป็นต้องผสมบิสมัตออกไซด์ เพื่อให้มีค่าความทึบรังสีเพิ่มขึ้น และให้สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่ายรังสี โดยบิสมัตออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ไม่มีกลิ่น มีความเป็นพิษต่ำ และไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition) และคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิต ในประเทศไทย (Thai White Portland cements) จากสองบริษัท ผสมกับบิสมัตออกไซด์และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (White ProRoot® MTA) โดยมีสมมุติฐานการศึกษาว่าส่วนประกอบ ทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยเมื่อนำมาผสมกับบิสมัตออกไซด์จะมีคุณสมบัติคล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งอาจนำมาใช้ทดแทนเอ็มทีเอที่เป็นวัสดุนำเข้าและมีราคาแพง

วัสดุและวิธีการ

การศึกษานี้เลือกไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย 2 บริษัท ซึ่งได้รับการรับรองจากมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.) เลขที่ 133[27]

การเตรียมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยกับบิสมัตออกไซด์

ผสมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยแต่ละบริษัทกับบิสมัตออกไซด์ (ผลิตภัณฑ์ FLUKA) ในอัตราส่วน 4 : 1 โดยน้ำหนักด้วยเครื่องบดและผสมสาร (grinding machine) เพื่อให้ได้วัสดุที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ผสมผงไวท์โปรรูทเอ็มทีเอกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ และผสมผงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสมัตออกไซด์กับน้ำกลั่น ในอัตราส่วนผง 1 กรัม ต่อน้ำกลั่น 0.3 มิลลิลิตร ให้ได้ส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน

การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี

นำส่วนผงของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสมัตออกไซด์ไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซ์เรย์อนาไลติคัลไมโครสโคปโพรบ (X-ray analytical microscope probe, XGT-5000, Horiba, Japan) ด้วยกำลังขยาย 400 ไมโครเมตร

การศึกษาขนาดอนุภาค (particle sizes)

นำซีเมนต์มาแขวนลอยในน้ำ ร่วมกับการใช้สารที่มีคุณสมบัติช่วยในการแตกตัว เพื่อไม่ให้ซีเมนต์จับตัวเป็นก้อน หลังจากนั้นนำซีเมนต์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำไปวิเคราะห์หาขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์ โดยเครื่องจะนำวัสดุที่แขวนลอยในน้ำผ่านลำแสงที่อยู่ในเครื่อง แล้วจึงประมวลผลออกมาเป็นขนาดของอนุภาค

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (morphological characteristics) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

ศึกษาทั้งส่วนผงและตัวอย่างที่แข็งตัวเต็มที่ โดยผสมส่วนผงกับน้ำกลั่นตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (humidity chamber) กำหนดให้มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผงและตัวอย่างที่แข็งตัวเต็มที่แล้ว ไปเก็บไว้ในตู้กำจัดความชื้น (dessicator) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงเคลือบด้วยอนุภาคทอง และนำไปตรวจดูลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 3500 เท่า บันทึกภาพด้วยระบบดิจิทัล (Semafor® 5.0 digital imaging system)

การวัดค่าความทึบรังสี

ประยุกต์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001) (ISO : International standard organization 6876 : 2001)[28] โดยผสมวัสดุและใส่ลงในแม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter) 10.0 มิลลิเมตร (± 0.1 มิลลิเมตร) และสูง 1 มิลลิเมตร (± 0.1 มิลลิเมตร) ปิดส่วนบนและส่วนล่างของแม่พิมพ์ด้วยสไลด์แก้ว (glass slide) เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบหาความทึบรังสีโดยวางตัวอย่างไว้บนแผ่นฟิล์ม (Kodak Insight Dental Film, Film Speed F, LOT 410 7520, Kodak, Rochester, NY, USA) ที่มีอลูมิเนียมสเต็ปเวดจ์อยู่ (95% aluminium stepwedge 0.5-9 มิลลิเมตร) ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสี (GX 1000, GENDEX corporation, Illinois, USA) ตั้งค่าไว้ที่ 60 กิโลโวลต์ (kV) กระแสไฟฟ้า (current) 10 มิลลิแอมแปร์ (mA) และระยะเวลาในการสัมผัสรังสี (exposure times) 0.12 วินาที กำหนดระยะทางที่กระบอกรังสีห่างจากแผ่นฟิล์ม 21 เซนติเมตร ล้างแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ (810Plus, Dent X, Elmsford, NY) นำไปคำนวณหาค่าความทึบรังสีด้วยเครื่องวัดความเข้มภาพรังสี (densitometer) (Darklight duo ref; Medset, Hamburg, Germany) ทดสอบโดยทำซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง และวิเคราะห์ด้วยการทดสอบที (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

การวัดค่าความเป็นกรด - เบส

ผสมซีเมนต์ และวัดค่าความเป็นกรด-เบสด้วยมาตรความเป็นกรด-เบส ที่มีเทมเพอเรเจอร์คอมเพนเสทอิเล็กโทรด (pH meter with temperature compensated electrode; Orion PerpHectLog R meter; Model 370; Orion Research Inc., Boston, MA, USA) บันทึกค่าทุก 1 นาที เป็นเวลา 60 นาทีหลังจากผสม วัดค่าแต่ละตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าไปบันทึกกราฟ

การทดสอบเวลาแข็งตัว (setting times)

ประยุกต์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001)[28] ซึ่งแนะนำการวัดเวลาแข็งตัวของวัสดุตามสมาคมวิจัยวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (ASTM : American Society for Testing and Materials C 266-03)[29] ซึ่งจะวัดเวลาแข็งตัว 2 ช่วง คือ เวลาที่วัสดุเริ่มแข็งตัว (initial setting times) และเวลาที่

วัสดุแข็งตัวเต็มที่ (final setting times) โดยผสมซีเมนต์และใส่ลงในแม่พิมพ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร และสูง 5 มิลลิเมตรที่วางไว้บนแท่นโลหะ (metal block) วัดเวลาแข็งตัวทั้ง 2 ช่วงภายใต้ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น บันทึกเวลาทั้งหมดที่ใช้ วิเคราะห์ผลด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

การทดสอบความทนแรงอัด (compressive strength)

ประยุกต์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 9917-1(2003)[30] โดยผสมซีเมนต์ และใส่ลงในแม่พิมพ์แบบวงแหวนแยกส่วนได้ (split ring moulds) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร และสูง 6 มิลลิเมตร เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจนถึงเวลาแข็งตัวเต็มที่ เอาตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ ตรวจหาจุดบกพร่อง นำไปใส่ในน้ำเป็นเวลา 1 วัน และ 21 วัน เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด นำตัวอย่างออกมาทดสอบความทนแรงอัด ด้วยเครื่องอินสตรอน 8872 (Instron 8872 Testing Machine, Instron Ltd., High Wycombe, UK) นำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

$$C = 4P/\pi D^2$$

กำหนด P เป็นแรงที่มากที่สุดที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก หน่วยเป็นนิวตัน และ C เป็นค่าความทนแรงอัด วิเคราะห์ผลด้วยสถิติความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

การทดสอบสภาพละลายได้ (solubility)

ประยุกต์จากมาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 30 (ADA : American Dental Association specification no. 30)[31] โดยผสมซีเมนต์ และนำวัสดุพร้อมสายเบ็ดตกปลา (wire) ที่ไม่ละลายน้ำ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร) ใส่ลงในแม่พิมพ์แบบวงแหวนแยกส่วนได้ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร (± 0.1 มิลลิเมตร) และสูง 1.5 มิลลิเมตร ที่อยู่บนไมลาร์สตริป (mylar strip) บนแผ่นโลหะ (metal plate) แล้วปิดทับด้วยไมลาร์สตริปอีกครั้ง ก่อนปิดทับอีกครั้งด้วยแผ่นโลหะ นำไปยึดในตัวหนีบยึด (clamp) และเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างออกจากตัวหนีบยึด และแม่พิมพ์ ตรวจดูความเรียบร้อย วัดน้ำหนักเริ่มต้น แล้วนำไปใส่ในขวดปากกว้างที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 50 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน เมื่อครบเวลานำตัวอย่างออกจากขวดปากกว้างไปเก็บไว้ในเครื่องกำจัดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง ก่อนนำกลับใส่ขวดปากกว้างอีกครั้ง นำน้ำหนักของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลามาคำนวณหาสภาพการละลายได้ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนแบบสองทางที่ระดับนัยสำคัญ .05

ผลการศึกษา

ส่วนประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค และลักษณะสัณฐานวิทยา

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท มีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ยกเว้นบิสมัตออกไซด์ ซึ่งจะไม่พบในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวทั้ง 2 บริษัท แต่จะพบในไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ อย่างไรก็ตามเมื่อผสมบิสมัตออกไซด์ในอัตราส่วน 1 : 4 ลงไปในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวทั้ง 2 บริษัท จะได้ส่วนประกอบทางเคมี และมีจำนวนบิสมัตออกไซด์ค่อนข้างใกล้เคียงกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (ตารางที่ 1)

ลักษณะสัณฐานวิทยาส่วนผงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย 2 บริษัทหลังจากผสมบิสมัตออกไซด์แล้ว (รูปที่ 1D และ 1E) พบมีลักษณะของผิวที่หยาบกว่าก่อนผสมบิสมัตออกไซด์เล็กน้อย (รูปที่ 1B และ 1C) แต่จะคล้ายคลึงกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (รูปที่ 1A) นอกจากนั้นยังพบว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีลักษณะสัณฐานวิทยาส่วนผิวหลังจากวัสดุแข็งตัวเต็มที่ (รูปที่ 2A) หยาบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท ผสมบิสมัตออกไซด์เล็กน้อย (รูปที่ 2D และ 2E)

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทจะมีขนาดอนุภาคใหญ่สุดโดยพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 มีขนาดอนุภาค 17.28 ± 13.11 ไมโครเมตร และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 มีขนาดอนุภาค 18.74 ± 13.91 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อผสมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทกับบิสมัตออกไซด์และนำไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

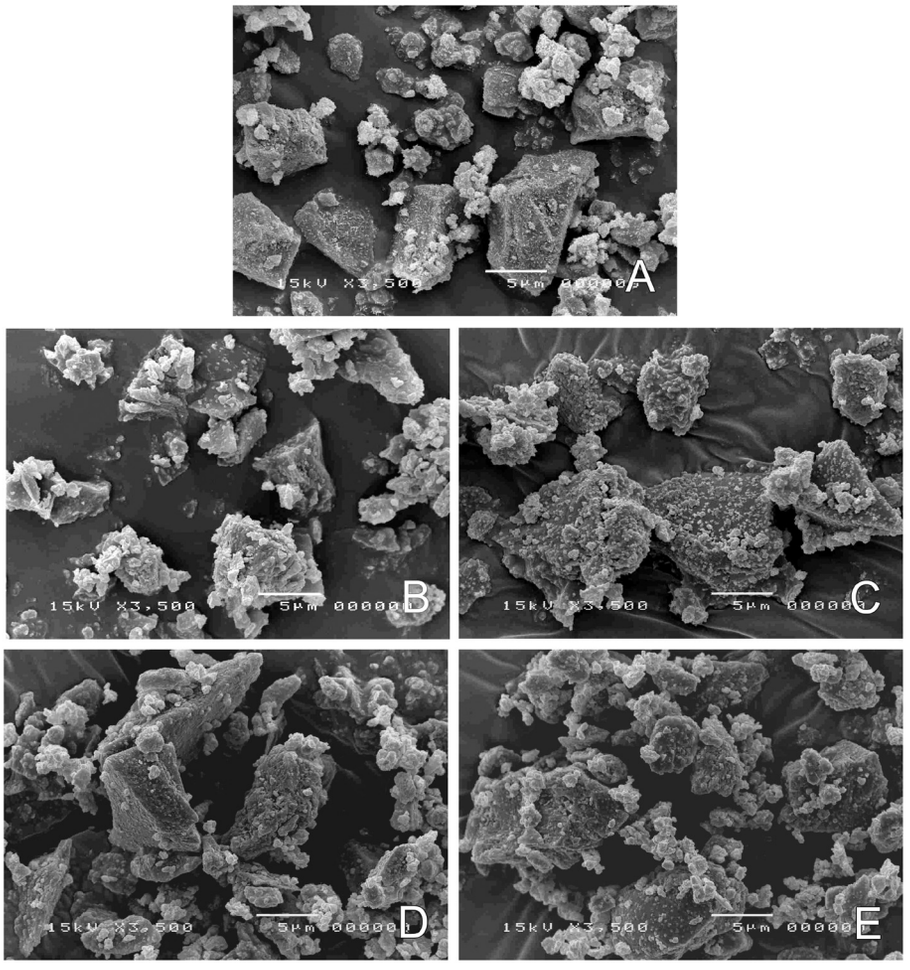
Table 1 Chemical composition of White ProRoot® MTA, Thai White Portland cement brand I, Thai White Portland cement brand II, Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide and Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide (percent by weight)

Chemical composition	Percent by weight				
	White ProRoot® MTA	Thai White Portland cement		Thai White Portland cement	
		Brand I	Brand II	Brand I adding bismuth oxide	Brand II adding bismuth oxide
Mg	0.48	0.56	0.53	0.49	0.51
Al	1.76	1.68	1.65	1.65	1.53
Si	10.96	14.76	14.91	9.04	9.46
S	0.70	3.11	3.24	0.81	0.83
Ca	50.58	79.52	79.18	50.63	50.91
Ti	0.03	0.12	0.12	0.05	0.04
Cr	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01
Fe	0.22	0.19	0.26	0.18	0.15
Ni	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Sr	0.09	0.04	0.08	0.03	0.07
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.04	0.00	0.00	0.09	0.11
Bi	35.14	0.00	0.00	36.97	36.38

กลับพบว่าขนาดอนุภาคของสารมีขนาดลดลง โดยพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์มีขนาดอนุภาค 14.49 ± 10.77 ไมโครเมตร และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์มีขนาดอนุภาค 16.60 ± 12.27 ไมโครเมตร ส่วนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดโดยมีขนาดอนุภาค 12.48 ± 7.291 ไมโครเมตร

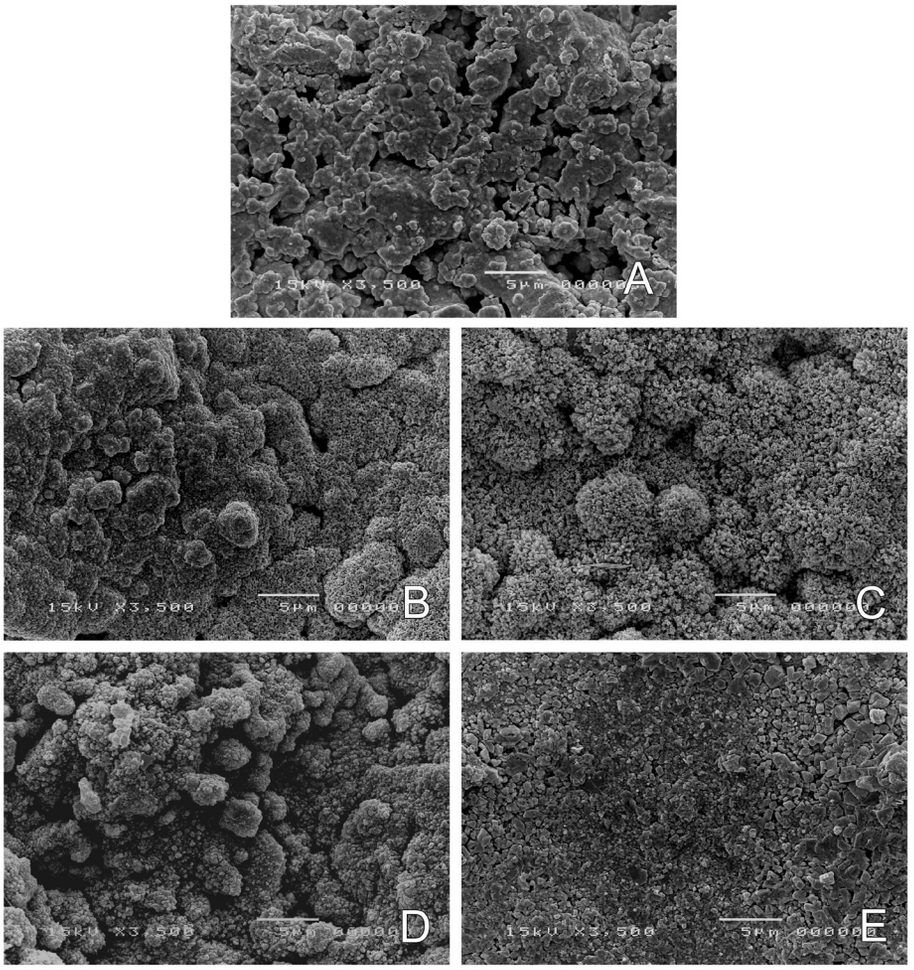
ความทึบรังสี

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 และบริษัทที่ 2 ก่อนผสมบิสมัทออกไซด์ จะมีค่าความทึบรังสีต่ำกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) (ตารางที่ 2) แต่เมื่อเติมบิสมัตออกไซด์ลงไปแล้วกลับพบว่ามีค่าความทึบรังสีมากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท หลังจากผสมกับบิสมัตออกไซด์ (ตารางที่ 2)



รูปที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาส่วนผงของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (A) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 (B) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 (C) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์ (D) และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์ (E)

Fig. 1 Morphological characteristics of White ProRoot® MTA (A), Thai White Portland cement brand I (B), Thai White Portland cement brand II (C), Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide (D), and Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide (E)



รูปที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแข็งตัวเต็มที่ของไวท์พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (A) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 (B) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 (C) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์ (D) และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์ (E)

Fig. 2 Morphological characteristics of fully set of White ProRoot® MTA (A), Thai White Portland cement brand I (B), Thai White Portland cement brand II (C), Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide (D), and Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide (E)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ของความทึบรังสีของตัวอย่างเทียบกับอลูมิเนียมสเต็ปเวดจ์

Table 2 Mean, S.D., minimum and maximum of radiopacity of samples compared to aluminium stepwedge

Materials	Radiopacity (Step)			
	Mean	S.D.	Minimum	Maximum
White ProRoot® MTA	5.50	0.00	5.50	5.50
Thai White Portland cement brand I	1.26*	0.09	1.26	1.36
Thai White Portland cement brand II	1.26*	0.10	1.16	1.36
Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide	5.62**	0.098	5.57	5.90
Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide	5.61**	0.10	5.54	5.89

* Significantly less than White ProRoot® MTA ($p < .05$)

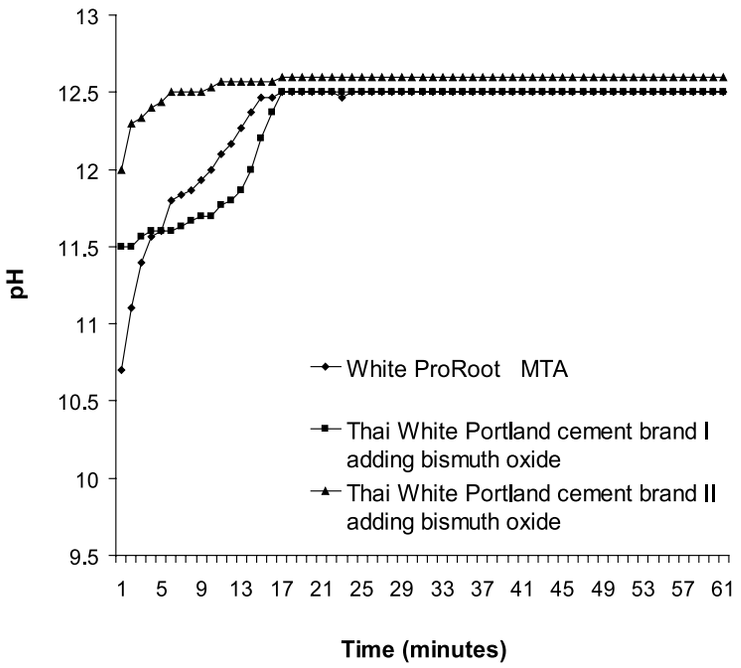
**Significantly higher than White ProRoot® MTA ($p < .05$)

ค่าความเป็นกรด-เบส

ซีเมนต์จะมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำเมื่อผสมเสร็จใหม่ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 16 นาที พบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด-เบสคงที่ คือ 12.6 ส่วนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด-เบสคงที่ด้วยค่า12.5 เมื่อเวลาผ่านไป 23 และ 24 นาทีตามลำดับ (รูปที่ 3)

เวลาแข็งตัว

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์จะมีเวลาแข็งตัวเริ่มต้น 110.6 ± 4.50 นาที และเวลาแข็งตัวเต็มที่ 225.40 ± 2.27 นาที ซึ่งน้อยกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) ขณะที่ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมกับบิสมัตออกไซด์มีเวลาแข็ง



รูปที่ 3 แสดงค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างการศึกษาทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Fig. 3 demonstrated the pH value of samples every 1 minute for 1 hour.

ตัวเริ่มต้นไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า 149.40 ± 1.50 นาที และ 143.40 ± 9.29 นาทีตามลำดับ แต่มีเวลาแข็งตัวเต็มที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) โดยไวท์โปรรูทเอ็มทีเอใช้เวลาเพื่อแข็งตัวเต็มที่ 315.80 ± 2.53 นาที ซึ่งนานกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมกับบิสมัตออกไซด์ที่มีค่า 265.80 ± 2.69 นาที

ความทนแรงอัด

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์มีค่าความทนแรงอัดเฉลี่ยมากสุด เมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำ 1 วัน รองลงมาเป็นไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์ (ตารางที่ 3) แต่เมื่อแช่ตัวอย่างทิ้งไว้ในน้ำ 21 วัน พบว่า ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีค่าความทนแรงอัดสูงสุด รองลงมาเป็นพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมบิสมัตออกไซด์ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมบิสมัตออกไซด์ (ตารางที่ 3)

สภาพละลายได้

ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด มีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความทนแรงอัดของวัสดุที่ 1 วัน และ 21 วัน (เมกกะปาสคาล)

Table 3 Mean and S.D. of compressive strength of materials at 1 day and 21 days (MPa)

Materials	Compressive strength (MPa)			
	1 day		21 day	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
White ProRoot® MTA	35.800	0.152	449.686	1.142
Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide	37.027	0.682	103.467	0.084
Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide	32.292	1.59671	85.805	0.384

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสภาพละลายได้ของวัสดุ เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน (ร้อยละ)

Table 4 Mean and S.D. of solubility of materials after 1 day, 7 days and 21 days (percent)

Materials	Radiopacity (Step)					
	After 1 day		After 7 days		After 21 days	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
White ProRoot® MTA	0.79429	0.12650	0.39521	0.17977	0.20967	0.09063
Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide	0.76062	0.12238	0.33526	0.11962	0.15659	0.08846
Thai White Portland cement brand II adding bismuth oxide	0.78842	0.12303	0.25668	0.13186	0.19805	0.17539

วิจารณ์

ปัจจุบันการศึกษาที่เปรียบเทียบเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีค่อนข้างน้อย[8,26,32-39] เนื่องจากเพิ่งเริ่มมีการนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาใช้ และยังต้องมีการเติมสารบางชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ได้ใกล้เคียงกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่ได้รับการรับรองจากมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.) เลขที่ 133[27] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดคุณสมบัติของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาว ซึ่งมีเพียง 2 บริษัทเท่านั้น เทียบกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยพบว่า มีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ยกเว้นบิสมัตออกไซด์ คล้ายกับการศึกษาของ Song และคณะ[8] ที่ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเอ็มทีเอชนิดต่างๆ พบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีส่วนประกอบหลักต่างจากเอ็มทีเอ โดยไม่พบบิสมัตออกไซด์ ซึ่งบิสมัต-ออกไซด์จะมีผลต่อความทึบรังสีของวัสดุ จากการศึกษาความทึบรังสีพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท มีความทึบรังสีน้อยกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และยังต่ำกว่าเกณฑ์ของไอเอสโอ 6876(2001)[28] คล้ายกับการศึกษาของ Danesh และคณะ[38] ที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความทึบรังสีของโปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 2 ชนิดในประเทศเยอรมนีพบว่า โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความทึบรังสีมากกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสมัตออกไซด์ตามอัตราส่วน 4 : 1 (อัตราส่วนจากการศึกษานำร่อง) จะส่งผลให้ส่วนประกอบทางเคมีและความทึบรังสีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งแม้ว่าจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสมัตออกไซด์จะมีค่าความทึบรังสีมากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญ แต่จากการประเมินภาพรังสีขั้นต้นด้วยตาเปล่าก่อนนำมาวัดค่าความทึบรังสีด้วยเครื่องวัดความเข้มภาพรังสี พบว่าจะมีความทึบรังสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะให้ผลความทึบรังสีคล้ายกันเมื่อพิจารณานำไปใช้จริงทางคลินิกที่ต้องมีการประเมินจากภาพรังสีด้วยตาเปล่า

จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทมีขนาดอนุภาคใหญ่ แต่เมื่อนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทไปผสมกับบิสมัตออกไซด์ด้วยเครื่องบดและผสมสารกลับพบว่ามีขนาดอนุภาคลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการบดและผสมที่หวังผลเพื่อให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับบิสมัตออกไซด์นั้น ส่งผลให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ได้รับการบดเพิ่มเติมจากการบดระหว่างขั้นตอนการผลิต ส่งผลให้ขนาดอนุภาคลดลง อย่างไรก็ตามไวท์โปรรูทเอ็มทีเอยังคงมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดสำหรับลักษณะสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนผงและตัวอย่างการศึกษาที่ผสมกับน้ำของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ลักษณะสัณฐาน-วิทยาส่วนผงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย 2 บริษัทหลังจากผสมบิสมัตออกไซด์แล้วพบมีลักษณะของผิวที่หยาบกว่าก่อนผสมบิสมัตออกไซด์เล็กน้อย แต่จะคล้ายคลึงกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ นอกจากนั้นยังพบว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีลักษณะสัณฐานวิทยาส่วนผิวหลังจากวัสดุแข็งตัวเต็มที่หยาบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท ผสมบิสมัตออกไซด์เล็กน้อย

ผลการศึกษาความเป็นกรด-เบสของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสหลังผสมเสร็จมีค่าต่ำ และจะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่งจึงจะมีค่าคงที่ โดยไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1 ผสมกับบิสมัตออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด-เบสคงที่เท่ากับ 12.5 ที่เวลา 23 นาที และ 24 นาทีตามลำดับ ส่วนพอร์ต-แลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2 ผสมกับบิสมัตออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด-เบสคงที่เท่ากับ 12.6 ที่เวลา 16 นาที ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ[37] ที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าความเป็นกรด-เบสของเอ็มทีเอและพอร์ต-แลนด์ซีเมนต์ทั้งสีเทาและขาวพบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของวัสดุจะมีค่าต่ำ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 นาที หลังจากนั้นจะมีค่าความเป็นกรด-เบสคงที่ ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกรด-เบสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นตัวอย่างการศึกษาทั้ง 3 ตัวอย่างน่าจะมีผลช่วยส่งเสริมให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็งคล้ายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้เป็นวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันได้ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Holland และคณะ[25] ที่

ฝังท่อเนื้อฟัน (dentin tube) ที่มีเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันใต้ผิวหนังของหนูแรท (rat subcutaneous connective tissue) และวิเคราะห์ผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันใต้ผิวหนังของหนูแรททางวิทยาเนื้อเยื่อ (histological analysis) เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน และ 30 วัน พบว่าเนื้อเยื่อเกี่ยวพันใต้ผิวหนังของหนูแรทจะตอบสนองต่อวัสดุทั้ง 3 ชนิดคล้ายกัน โดยเกิดเป็นเนื้อเยื่อแข็งที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ มีลักษณะคล้ายสะพาน (irregular tissue like a bridge) ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีกลไกการเหนี่ยวนำให้เกิดเนื้อเยื่อแข็งที่คล้ายกัน

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับเวลาแข็งตัวนั้น ได้เลือกศึกษาเวลาแข็งตัว 2 ช่วงเวลา คือ เวลาแข็งตัวเริ่มต้น และเวลาแข็งตัวเต็มที่ ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001)[28] ที่แนะนำให้วัดระยะเวลาการแข็งตัวตามสมาคมวิจัยวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (ASTM C 226-03)[29] สำหรับพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย จะกำหนดอัตราส่วนผสมดังนี้ คือ ผง : น้ำ เท่ากับ 1 กรัม : 0.3 มิลลิลิตร โดยนำมาจากการศึกษานำร่องซึ่งพบว่า อัตราส่วนนี้ได้ซีเมนต์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีความกลมกลืน (consistency) เหมาะสม ไม่ข้นหรือเหลวจนเกินไป ส่งผลดีต่อการนำมาใช้ และได้คุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม เช่น เวลาแข็งตัวที่ไม่เร็วหรือนานจนเกินไป จากผลการศึกษาพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสมัตออกไซด์ทั้ง 2 บริษัท มีเวลาแข็งตัวเต็มที่น้อยกว่าโปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ[37] ที่ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการแข็งตัวของเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้งสีเทาและสีขาวโดยอ้างอิงจากมาตรฐานเดียวกับการศึกษานี้ และผลการศึกษาพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวมีเวลาแข็งตัวเต็มที่น้อยกว่าเอ็มทีเอสีขาว ซึ่งน่าจะเป็นผลดีต่อการใช้ในทางคลินิกที่นำมาปิดปลายรากฟัน หรือปิดรอยทะลุ ซึ่งอาจจะต้องสัมผัสกับความชื้น

ความทนแรงอัดของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ[37] ที่ศึกษาเกี่ยวกับความทนแรงอัดของเอ็มทีเอสีเทาและสีขาว และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีเทาและสีขาว ซึ่งได้ผลการศึกษาคล้ายกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบว่าความทนแรงอัดของซีเมนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้ในน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป จึงอาจกล่าวได้ว่าความชื้นมีผลส่งเสริมให้ความทนแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นได้ และจากภายใต้สภาวะของการศึกษานี้ แม้จะพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการศึกษาของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน และ 21 วัน อย่างไรก็ตามก็มีผลน้อยมาก เมื่อพิจารณาใช้ซีเมนต์ดังกล่าวเป็นวัสดุอุดย้อนปลายราก เนื่องจากไม่ได้รับแรงจากการบดเคี้ยวโดยตรง

ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > .05$) และมีค่าการละลายตัวน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Islam และคณะ[37] พบว่าเอ็มทีเอสีขาวมีการละลายตัวมากกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่คุณสมบัติเกี่ยวกับการละลายตัวที่ดีกว่าเอ็มทีเอสีขาว จึงน่าจะเป็นประโยชน์เมื่อพิจารณานำมาใช้เป็นวัสดุอุดย้อนปลายราก เนื่องจากต้องมีการสัมผัสกับความชื้นโดยตรง

สรุป

ภายใต้สภาวะการศึกษานี้พบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท เมื่อผสมกับบิสมัตออกไซด์แล้วมีส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ทุนพัฒนาวิชาการจุฬาฯ 100 ปี ที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้ความเอื้อเฟื้อในการทำงานวิจัยอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Rud J, Andreasen JO, Jensen JF. A multivariate analysis of the influence of various factors upon healing after endodontic surgery. Int J Oral Surg. 1972;1(5):258-71.
2. Lin L, Skribner J, Shovlin F, Langeland K. Periapical surgery of mandibular posterior teeth: anatomical and surgical considerations. J Endod. 1983;9(11):496-501.

3. Friedman S. Retrograde approaches in endodontic therapy. Endod Dent Traumatol. 1991;7(3):97-107.
4. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. J Endod. 1993; 19(12):591-5.
5. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. J Endod. 1995;21(7): 349-53.
6. Abdullah D, Ford TR, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. Biomaterials. 2002;23(19):4001-10.
7. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. Dent Mater. 2005;21(4):297-303.
8. Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006;102(6):809-15.
9. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. J Endod. 1995;21(10):489-92.
10. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kaiyawasam SP. Tissue reaction to implanted super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. J Endod. 1995;21(11): 569-71.
11. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. J Endod. 1997;23(4): 225-8.
12. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to Mineral Trioxide Aggregate. J Endod. 1998;24(8):543-7.
13. Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. J Biomed Mater Res. 1997;37(3):432-9.
14. Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. Biomaterials. 1999;20(2):167-73.
15. Zhu Q, Haglund R, Safavi KE, Spangberg LS. Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. J Endod. 2000;26(7):404-6.
16. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. J Endod. 1995;21(3):109-12.
17. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. J Endod. 1995;21(6):295-9.
18. Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. J Endod. 1998;24(8):557-60.
19. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as a root-end filling material. J Endod. 1998;24(3):176-9.
20. Yatsushiro JD, Baumgartner JC, Tinkle JS. Longitudinal study of the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. J Endod. 1998;24(11):716-9.
21. Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ. A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. Int Endod J. 1999; 32(3):197-203.
22. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PP, Abedi H, McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. J Endod. 1999;25(1):1-5.

23. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. J Endod. 1995;21(8):403-6.
24. Stowe TJ, Sedgley CM, Stowe B, Fenno JC. The effects of chlorhexidine gluconate (0.12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. J Endod. 2004;30(6): 429-31.
25. Holland R, de Souza V, Nery MJ, Faraco Junior IM, Bernabe PF, Otoboni Filho JA, et al. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. Braz Dent J. 2001;12(1):3-8.
26. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. Int Endod J. 2005;38(11):834-42.
27. Ministry of Industry. TIS 133-2518. 2 ed. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute; 1998.
28. International Organization for Standardization. Specification for dental root canal sealing materials. ISO 6876. London: British Standard Istitution; 2001.
29. American Society for Testing and Materials. Standard test method for time and setting of hydraulic-cement paste by Gillmor needles. ASTM C266-03.
30. International Organization for Standardization. Dentistry-Water-based cements-p.1 : Powder/ liquid acid-base cements. ISO 9917-1. London: British Standards Institution; 2003.
31. ANSI/ADA.Revised American National Standard/ American Dental Association Specification No.30 for dental zinc oxide eugenol cements and zinc oxide noneugenol cement 7.5; 1991.
32. Wucherpfenning AL, Green DB. Mineral trioxide vs. Portland cement : two compatible filling materials J Endod. 1999;25(308):Abstract PR40.
33. Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. Braz Dent J. 2000;11(1):3-9.
34. Funteas UR, Wallace JA, Fochtman EW. A comparative analysis of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement. Aust Endod J. 2003;29(1): Abstract 43-4.
35. Duarte MA, De Oliveira Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, De Campos Fraga S. Arsenic release provided by MTA and Portland cement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2005;99(5):648-50.
36. Islam I, Chng HK, Yap AU. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. Int Endod J. 2006;39(3):220-5.
37. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. J Endod. 2006;32(3):193-7.
38. Danesh G, Dammaschke T, Gerth HU, Zandbiglari T, Schafer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. Int Endod J. 2006;39(3): 213-9.
39. Dammaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. Dent Mater. 2005;21(8):731-8.

Comparison of chemical composition and physical properties of two Thai White Portland cements with bismuth oxide versus White ProRoot® MTA

Sirikwan Sirichaivongsakul D.D.S.[1]
Anchana Panichuttra D.D.S., M.S, Ph.D.[2]

[1]Master degree student, Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University
[2]Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Abstract

Objective To compare the chemical composition and physical properties of two Thai White Portland cements adding bismuth oxide and White ProRoot® MTA.

Materials and methods X-ray analytical microscope probe and particle size analyzer were used to determine chemical composition and particle sizes of two Thai White Portland cements adding bismuth oxide and White ProRoot® MTA. Scanning electron microscopy was used to analyze morphological characteristics. Then pH meter with temperature compensated electrode was used to measure pH value every 1 minute for 1 hour. Radiopacity of the sample was compared with aluminium stepwedge under ISO 6876(2001). Setting times were determined under the protocol of the American Society of Testing and Materials recommended by ISO 6876(2001). Compressive strength and solubility were determined under ISO 9917-1(2003) and ADA specification no. 30, respectively. Descriptive statistical analyses, One-way ANOVA, Two-way ANOVA and t-test were used to analyze the experimental data.

Results Chemical composition, particle sizes and morphological characteristics of two Thai White Portland cements adding bismuth oxide were similar to those of White ProRoot® MTA. Radiopacity of two Thai brands adding bismuth oxide was significantly more than White ProRoot® MTA ($p < .05$). White ProRoot® MTA, Thai White Portland cement brand I and brand II adding bismuth oxide showed pH 12.5, 12.5 and 12.6 at 23, 24 and 16 minutes, respectively. Thai White Portland cement brand I adding bismuth oxide exhibited the lowest initial and final setting times and also showed the highest compressive strength after 1 day (37.027 MPa). However, White ProRoot® MTA displayed the highest compressive strength after 21 days (449.686 MPa). The result of solubility test revealed no statistical difference among all samples at 1, 7 and 21 days ($p > .05$).

Conclusion Two Thai White Portland cements adding bismuth oxide and White ProRoot® MTA were similar in chemical composition and physical properties.

(CU Dent J. 2008;31:145-58)

Key words: *bismuth oxide; chemical compositions; physical properties; Thai White Portland cement; White ProRoot® MTA*