ว ทันต จุฬาฯ 2553;33:207-20
CU Dent J. 2010;33:207-20

บทวิทยาการ
Original Article

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส

ปุณยวีร์ วีระโสภณ ท.บ.[1]
อัญชนา พานิชอัตรา ท.บ., M.S.D., Ph.D.[2]

[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมกับแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส เปรียบเทียบกับ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น

วัสดุและวิธีการ เตรียมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยจากสองบริษัทที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่นหรือของเหลวที่มีสารเร่งการแข็งตัว (สารละลายที่มีร้อยละ 5 ของแคลเซียมคลอไรด์ และร้อยละ 1 ของเมททิลเซลลูโลส) และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น กลุ่มละ 10 ตัวอย่าง ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด วัดความเป็นกรดด่าง ระยะเวลาแข็งตัว ความทึบรังสี ความทนแรงอัด และสภาพละลายได้ วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียว ($p < 0.05$)

ผลการศึกษา ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่นและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่นหรือผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกัน ยกเว้นไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีผลึกละเอียด โดยไม่พบอนุภาคขนาดใหญ่ และมีอนุภาคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปะปนอยู่เล็กน้อย ความเป็นกรดด่างของซีเมนต์ทุกชนิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความเป็นด่างสูงที่สุด (12.07) เมื่อซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีความเป็นด่างสูงกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีเวลาการก่อตัวที่สั้นกว่า แต่มีความทนแรงอัดที่ 21 วันสูงกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีสภาพละลายได้มากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอในวันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อผ่านไป 21 วัน ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่มมีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกัน

สรุป พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีระยะเวลาการแข็งตัวที่น้อยกว่า แต่มีความทนแรงอัดสูงกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นมีสภาพละลายได้ที่ 21 วัน และความทึบรังสีไม่แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ มีความเป็นด่างต่ำกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอเล็กน้อย ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อนำมาใช้แทนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอได้ในอนาคต

(ว ทันต จุฬาฯ 2553;33:207-20)

คำสำคัญ: *คุณสมบัติทางกายภาพ; แคลเซียมคลอไรด์; พอร์ตแลนด์ซีเมนต์; เมททิลเซลลูโลส; ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ; องค์ประกอบทางเคมี*

บทนำ

การทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ (endodontic surgery) เป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษารากฟันในกรณีที่การรักษารากฟันไม่ประสบความสำเร็จ หรือไม่สามารถเข้าสู่คลองรากฟันจากทางตัวฟันได้ ซึ่งการทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์โดยทั่วไปจะต้องมีการตัดปลายรากฟัน (apicoectomy) และการอุดย้อนปลายรากฟัน (retrograde filling)[1,2] การใช้มิเนอรัลไตรออกไซด์แอกกริเกต หรือ เอ็มทีเอ (Mineral Trioxide Aggregate; MTA) เป็นวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันนั้นได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันชนิดอื่น ๆ หลายประการ เช่น มีความเป็นกรดด่างสูง[3] มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ที่ดี[3-8] ส่งเสริมการเกิดใหม่ (regeneration) ของเนื้อเยื่อปริทันต์[9] และสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue formation) ได้[10] อย่างไรก็ตามเอ็มทีเอก็ยังมีข้อเสียอยู่บางประการ เช่น ระยะเวลาการก่อตัวที่นาน ใช้งานยาก[3,11] และราคาแพง

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland cement) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในเอ็มทีเอ[12-15] ได้ถูกศึกษาเปรียบเทียบกับเอ็มทีเอ ในแง่ของคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี[16] ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ[17-19] และการศึกษาในสัตว์ทดลอง[10,17] พบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเอ็มทีเอ แต่มีราคาที่ถูกกว่าเอ็มทีเอมาก จึงมีความพยายามนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพและนำมาใช้ทดแทนเอ็มทีเอ

เอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีระยะเวลาการแข็งตัวนาน จึงมีการใส่สารเพื่อเร่งระยะเวลาการแข็งตัวให้เร็วขึ้น ซึ่งพบว่าการผสมแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) กับเอ็มทีเอหรือพอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะช่วยเร่งระยะเวลาการแข็งตัวได้[20-22]

เมททิลเซลลูโลส (methyl cellulose) เป็นตัวประสาน (emulsifier) ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ไม่เป็นพิษ และไม่ทำให้เกิดการแพ้ ถูกนำมาผสมกับแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) ที่เป็นโครงร่าง (scaffold) สำหรับเนื้อเยื่อกระดูกในทางการแพทย์เพื่อช่วยให้แคลเซียมฟอสเฟตแข็งตัวเร็วและถูกชะล้างในระหว่างการผ่าตัดน้อยลง Ber และคณะ[20] นำแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสผสมกับพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ พบว่าช่วยให้ซีเมนต์แข็งตัวเร็วขึ้นรูปและใช้งานง่ายขึ้น

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมบิสมัตออกไซด์ได้ถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (white ProRoot® MTA) พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ[16] และความเป็นพิษต่อเซลสร้างกระดูกของมนุษย์ (human osteoblast) ไม่แตกต่างกัน[23] ซึ่งพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมด้วยบิสมัตออกไซด์ อาจนำมาพัฒนาและใช้แทนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอที่มีราคาแพงได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการแข็งตัวที่นาน ยังคงเป็นปัญหาของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผสมด้วยบิสมัตออกไซด์ และยังไม่มีการศึกษาใดทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผสมด้วยบิสมัตออกไซด์ ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมกับแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส โดยเปรียบเทียบกับพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น

วัสดุและวิธีการ

การศึกษานี้ใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศ-ไทยจากสองบริษัทที่ได้รับรองจากมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (มอก.) หมายเลข 133 ปรับปรุงคุณภาพด้วยบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 เปรียบเทียบกับพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอที่ผสมด้วยน้ำกลั่น ซึ่งใช้เป็นกลุ่มควบคุมในการศึกษานี้

การเตรียมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศ-ไทยกับบิสมัตออกไซด์

ผสมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวแต่ละบริษัทกับบิสมัตออกไซด์ (Fluka, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Buchs, Spain) ในอัตราส่วน 4:1 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องบดและผสมสาร (grinding machine) เป็นเวลา 2 นาที โดยผสมครั้งละ 100 กรัม

การเตรียมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสสำหรับเป็นส่วนน้ำ

ผสมเมททิลเซลลูโลสด้วยการอุ่นสารละลายในน้ำกลั่นร่วมกับการใช้แท่งแม่เหล็กคนสาร (magnetic stirrer) และผสมเข้าด้วยกันกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จนได้ส่วนน้ำที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 โดยปริมาตร

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ผสมส่วนผงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่มีบิสมัตออกไซด์หรือผงเอ็มทีเอกับส่วนน้ำที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 หรือน้ำกลั่น ในอัตราส่วนผง 1 กรัมต่อส่วนน้ำ 0.33 มิลลิลิตร

การแบ่งกลุ่มทดลอง

แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 5 กลุ่มดังนี้

1. พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวบริษัทที่ 1 ที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW)

2. พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวบริษัทที่ 1 ที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 (CA)

3. พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวบริษัทที่ 2 ที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น (KW)

4. พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวบริษัทที่ 2 ที่มีบิสมัตออกไซด์ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 (KA)

5. ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น (MTA)

เมื่อผสมส่วนผงและส่วนน้ำของซีเมนต์แต่ละกลุ่มแล้วทิ้งไว้ให้แข็งตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 จากนั้นนำไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างที่แข็งตัวเต็มที่แล้วทั้ง 5 กลุ่ม มาบดละเอียดและวิเคราะห์สารประกอบจากการวิเคราะห์ผลึกโดยวิธีวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer) (Bruker AXS Model D8 Discover, Karlsruhe, Germany)

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (morphological characteristic) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

นำตัวอย่างที่แข็งตัวเต็มที่ทั้ง 5 กลุ่ม ไปใส่ในตู้กำจัดความชื้น (dessicator) เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำไปเคลือบอนุภาคทอง และตรวจดูลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า บันทึกภาพด้วยระบบดิจิตัล (Semafor® 5.0 digital imaging system)

การวัดค่าความเป็นกรดด่าง

เมื่อผสมส่วนผงและส่วนน้ำของซีเมนต์แต่ละชนิดในแม่พิมพ์ซิลิโคน วัดค่าความเป็นกรดด่างหลังผสมทันทีตั้งแต่นาทีที่ 2 ถึงนาทีที่ 60 ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่างดิจิตัล (Orion 370, Orion research Inc., Boston, MA, USA) โดยวิธีวัดโดยตรงจากพื้นผิวตัวอย่าง บันทึกค่าทุกๆ 2 นาที โดยวัดจากตัวอย่างกลุ่มละ 10 ชิ้น หาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาแล้วนำค่าไปบันทึกกราฟ

การทดสอบเวลาแข็งตัว (setting time)

ประยุกต์จากมาตรฐานเอดีเอหมายเลข 50 ปี 2008 (ADA : American Dental Association specification no. 50; 2008) โดยผสมซีเมนต์แต่ละกลุ่มลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร และสูง 2 มิลลิเมตร วัดระยะเวลาแข็งตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 โดยใช้เข็มกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หนัก 100 กรัม ทุกๆ 30 วินาที จนไม่พบรอยกดบนชิ้นตัวอย่าง บันทึกค่าระยะเวลาการแข็งตัว โดยวัดจากตัวอย่างกลุ่มละ 10 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบความทนแรงอัด (compressive strength)

ประยุกต์จากมาตรฐานไอเอสโอ 9917-1 ปี 2003 (International organization for standardization: ISO

9917-1, 2003) โดยผสมซีเมนต์แต่ละกลุ่มลงในแม่พิมพ์แบบวงแหวนแยกส่วนได้ (split ring mould) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และสูง 6 มิลลิเมตร เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 จนแข็งตัวเต็มที่ นำชิ้นงานมาตรวจหาจุดบกพร่อง เลือกเฉพาะชิ้นงานที่สมบูรณ์นำไปใส่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจนครบเวลา 1 วัน และ 21 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่องอินสตรอน 8872 (Instron 8872 Testing Machine, Instron Ltd., High Wycombe, UK)

การทดสอบสภาพละลายได้ (solubility)

ประยุกต์จากมาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 30 ปี 1991 (ADA : American Dental Association specification no. 30, 1991) โดยผสมซีเมนต์แต่ละกลุ่มและลวดทองแดงที่ไม่ละลายน้ำและไม่เกิดสนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ใส่ลงในแม่พิมพ์แบบวงแหวนแยกส่วนได้ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร สูง 1.5 มิลลิเมตร เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ เลือกเฉพาะชิ้นงานที่สมบูรณ์ วัดน้ำหนักเริ่มต้นด้วยเครื่องชั่งสารความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง นำชิ้นงานใส่ในขวดบรรจุน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน เมื่อครบเวลานำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องกำจัดความชื้น 6 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลา นำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การทดสอบความทึบรังสี (radiopacity)

ประยุกต์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876 ปี 2001 (International organization for standardization: ISO 6876, 2001)โดยผสมซีเมนต์แต่ละกลุ่มลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร และสูง 1 มิลลิเมตร เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 ทดสอบความทึบรังสี โดยวางบนแผ่นรับรังสีฟอสฟอร์ (phosphor plate) ขนาดเบอร์ 4 โดยถ่ายภาพรังสีเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมสเต็ปเวดจ์ (aluminium step wedge) ที่มีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 98 และมีความหนา 0.5 มิลลิเมตรถึง 9 มิลลิเมตร โดยมีความหนาเพิ่มขึ้นทุก ๆ 0.5 มิลลิเมตร ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสี (GX 1000, Gendex corporation, IL US) ที่ 70 กิโลโวลท์ (kV) 15 มิลลิแอมแปร์ (mA) เวลา 0.22 วินาที กำหนดระยะทางระหว่างกระบอกรังสี ถึงแผ่นรับรังสีฟอสฟอร์ที่ 15 เซนติเมตร ประมวลภาพรังสีด้วยเครื่องอ่านภาพรังสี (Kodak CR7400, Carestream health, NY, US) และวัดค่าความทึบรังสีโดยเปรียบเทียบค่าเกรย์สเกล (grey scale value) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Infinitt® Full PACS, soule, Korea) ทดสอบกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษา

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม ได้ผลการศึกษาดังนี้

องค์ประกอบทางเคมี พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวจากทั้งสองบริษัทที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น และเมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกัน โดยพบส่วนประกอบหลัก คือ แคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ (calcium silicate oxide) และบิสมัตออกไซด์ ส่วนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอที่ผสมด้วยน้ำกลั่นจะพบแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ บิสมัตออกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) (รูปที่ 1)

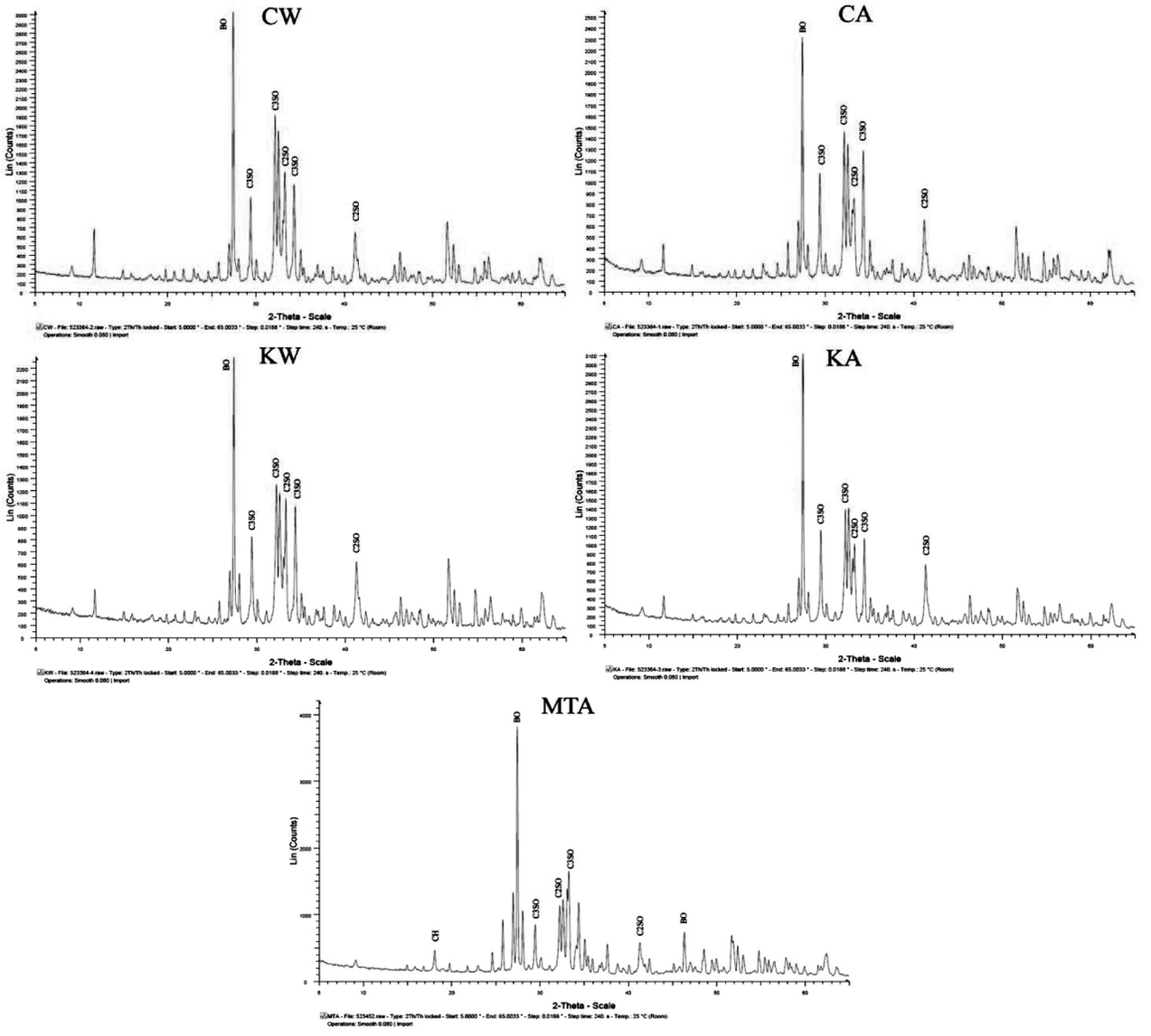
การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) มีการสร้างผลึกในลักษณะต่าง ๆ มากกว่า ในขณะที่ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำ (CW และ KW) จะพบอนุภาคของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์พบว่าผลึกของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีขนาดเล็กและละเอียดมากกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (รูปที่ 2)

ความเป็นกรดด่าง ความเป็นกรดด่างของซีเมนต์ที่ผสมน้ำกลั่น (CW และ KW) เริ่มต้นที่ 10.14 และ 10.10 ตามลำดับ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) มีความเป็นกรดด่างเริ่มต้นที่ 10.48 และ 10.43 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าซีเมนต์ที่ผสมน้ำกลั่น (CW และ KW)

อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความเป็นกรดด่างหลังผสมทันทีที่ 11.22 ซึ่งสูงกว่าซีเมนต์ทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อผ่านไป 30 นาที ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) มีความเป็นกรดด่าง 11.08 และ 10.17 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (11.54 11.43 และ 11.64 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 60 ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความเป็นกรดด่าง 12.07 ซึ่งสูงกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) (ซึ่งมีความเป็นกรดด่าง 11.71 และ 11.61 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



รูปที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

Fig. 1 Chemical composition of set samples

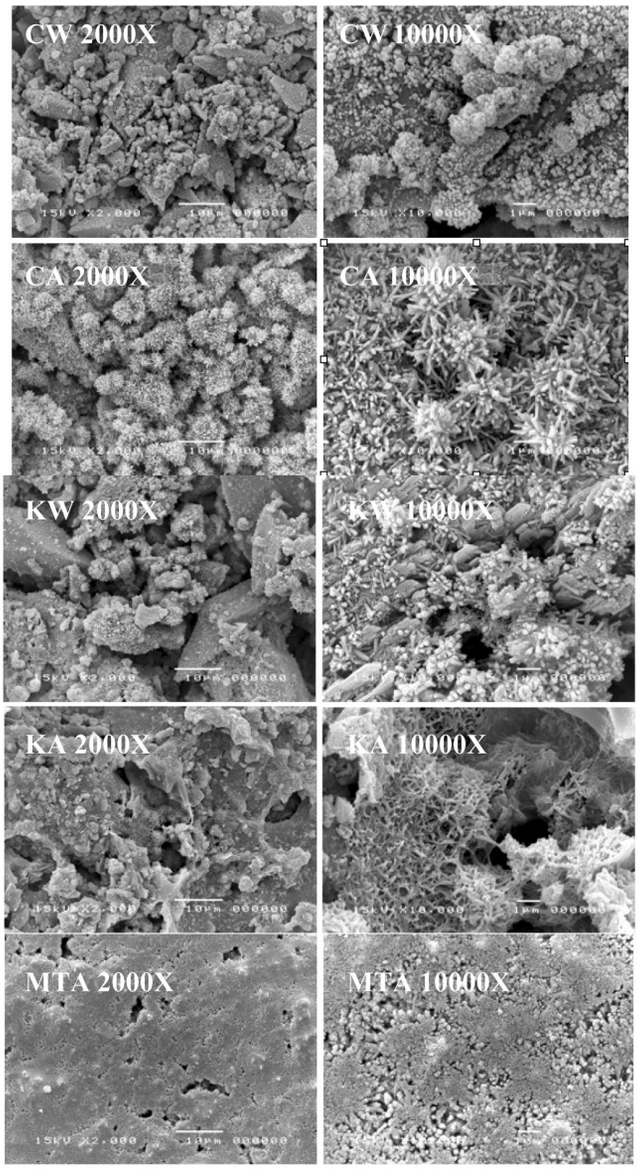
BO, bismuth oxide; C2SO, dicalcium silicate oxide; C3SO, tricalcium silicate oxide; CH, calcium hydroxide; CW, Portland cement 1 with sterile water; CA, Portland cement 1 with setting accelerant; KW, Portland cement 2 with sterile water; KA, Portland cement 2 with setting accelerant; MTA, white ProRoot® MTA

ส่วนซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) จะมีความเป็นกรดด่าง 11.43 และ 11.46 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) และไวท์โปรรูทเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในลักษณะเดียวกับเมื่อเริ่มผสม

ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่มจะมีค่าความเป็นกรดด่างสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 12 นาทีแรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ (รูปที่ 3)

เวลาแข็งตัว ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) จะมีเวลาแข็งตัวที่เร็วกว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) และไวท์โปรรูทเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1)

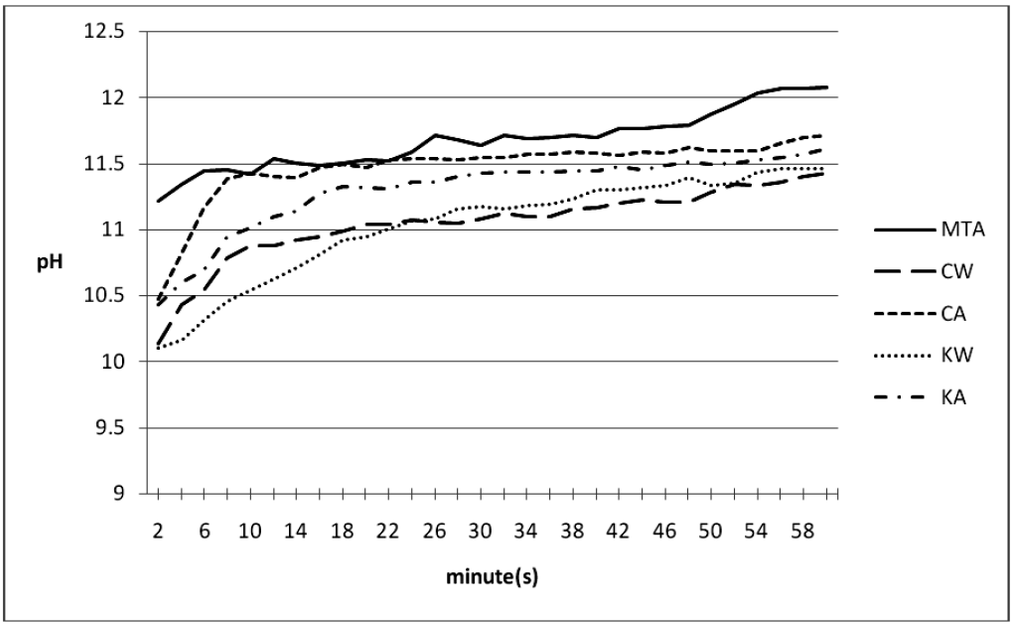
ความทนแรงอัด ที่ช่วงเวลา 1 วัน ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) มีความทนแรงอัดมากกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสม



รูปที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนของซีเมนต์แต่ละชนิด

Fig. 2 Morphology of samples using scanning electron microscope

CW, Portland cement 1 with sterile water; CA, Portland cement 1 with setting accelerant; KW, Portland cement 2 with sterile water; KA, Portland cement 2 with setting accelerant; MTA, white ProRoot® MTA



รูปที่ 3 ความเป็นกรดด่างของตัวอย่างที่ศึกษาทุก ๆ 2 นาที เป็นเวลา 60 นาที

Fig. 3 pH value of samples in every 2 minutes for 60 minutes

CW, Portland cement 1 with sterile water; CA, Portland cement 1 with setting accelerant; KW, Portland cement 2 with sterile water; KA, Portland cement 2 with setting accelerant; MTA, white ProRoot® MTA

ด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และที่ช่วงเวลา 21 วัน หลังแข็งตัว พอร์ตแลนด์ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) มีความทนแรงอัดมากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW แลพ KW) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยความทนแรงอัดของซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมากกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่นที่เวลา 1 วัน และ 21 วัน (ตารางที่ 1)

สภาพละลายได้ ที่ช่วงเวลา 1 วัน ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) มีสภาพละลายได้ที่น้อยกว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 (CA และ KA) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวจากทั้ง 2 บริษัท ทั้งที่ผสมด้วยน้ำกลั่นและแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีสภาพละลายได้ที่ไม่แตกต่างกัน

ที่ช่วงเวลา 7 วัน ซีเมนต์บริษัทที่ 1 ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีสภาพละลายได้มากกว่าซีเมนต์บริษัทที่ 1 ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p <$ 0.05) แต่ไม่แตกต่างกับซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและซีเมนต์ทุกกลุ่มมีสภาพละลายได้ที่ไม่แตกต่างกันหลังจากผ่านไป 21 วัน (ตารางที่ 2)

ความทึบรังสี ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความทึบรังสีเทียบเท่ากับอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่มีความหนา 5.65 มิลลิเมตร ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) มีความทึบรังสีเท่ากับ 4.88 และ 4.76 มิลลิเมตรของอลูมิเนียมตามลำดับ และซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) มีความทึบรังสีเท่ากับ 5.17 และ 5.11 มิลลิเมตรของอลูมิเนียม ตามลำดับ ซึ่งไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความทึบรังสีมากกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากซีเมนต์กลุ่มที่ผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA และ KA) (ตารางที่ 1)

วิจารณ์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิต

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยเวลาการแข็งตัว ความทนแรงอัด และความทึบรังสี

Table 1. Setting time, compressive strength and radiopacity

Cement type	Setting time (minute) Mean ± (SD)	Compressive strength (MPa)		Radiopacity (mm Aluminium) Mean ± (SD)
		Mean ± (SD) 1 day	Mean ± (SD) 21 days	
CW	72.90 (± 1.70)$^{(a)}$	40.70 (± 4.26)$^{(a)}$	77.59 (± 3.46)$^{(a)}$	4.88 (± 0.32)$^{(a)}$
CA	55.85 (± 2.63)$^{(b)}$	49.05 (± 4.41)$^{(b)}$	90.54 (± 4.82)$^{(b)}$	5.17 (± 0.26)$^{(ab)}$
KW	80.05 (± 3.61)$^{(a)}$	41.35 (± 3.14)$^{(a)}$	80.61 (± 4.10)$^{(a)}$	4.76 (± 0.38)$^{(a)}$
KA	57.15 (± 1.80)$^{(b)}$	52.15 (± 3.60)$^{(b)}$	91.95 (± 4.63)$^{(b)}$	5.11 (± 0.32)$^{(ab)}$
MTA	81.30 (± 1.99)$^{(a)}$	48.27 (± 3.44)$^{(b)}$	82.36 (± 3.58)$^{(a)}$	5.66 (± 0.48)$^{(b)}$

Different letter "a" and "b" in the same row indicates the significant difference ($p < 0.05$) CW, Portland cement 1 with sterile water; CA, Portland cement 1 with setting accelerant; KW, Portland cement 2 with sterile water; KA, Portland cement 2 with setting accelerant; MTA, white ProRoot® MTA

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยสภาพละลายได้ของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

Table 2. Mean solubility of set samples

Cement type	Solubility (%) Mean ± (SD)		
	1 day	7 days	21 days
CW	1.15 (± 0.29)$^{(ab)}$	0.75 (± 0.17)$^{(a)}$	0.75 (± 0.17)$^{(a)}$
CA	1.43 (± 0.27)$^{(b)}$	0.91 (± 0.08)$^{(b)}$	0.88 (± 0.13)$^{(a)}$
KW	1.09 (± 0.25)$^{(ab)}$	0.77 (± 0.13)$^{(ab)}$	0.77 (± 0.13)$^{(a)}$
KA	1.35 (± 0.09)$^{(b)}$	0.79 (± 0.11)$^{(ab)}$	0.81 (± 0.13)$^{(a)}$
MTA	0.91 (± 0.10)$^{(ac)}$	0.85 (± 0.10)$^{(ab)}$	0.64 (± 0.14)$^{(a)}$

Different letter "a", "b" and "c" in the same row indicates the significant difference ($p < 0.05$) CW, Portland cement 1 with sterile water; CA, Portland cement 1 with setting accelerant; KW, Portland cement 2 with sterile water; KA, Portland cement 2 with setting accelerant; MTA, white ProRoot® MTA

ในประเทศไทยมีอนุภาคขนาดใหญ่ปะปนอยู่ ซึ่งอนุภาคและผลึกที่พบในไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าไวท์โปรูทเอ็มทีเอมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์[24,25] ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีการก่อตัวเป็นผลึกมากกว่ากลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น ซึ่งสังเกตได้จากอนุภาคขนาดใหญ่ที่เหลืออยู่ในกลุ่มที่ผสมน้ำกลั่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคลอไรด์สามารถเร่งให้ซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าและรวดเร็วขึ้น ส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะพบว่ามีลักษณะผลึกที่ละเอียด และขนาดอนุภาคเล็กกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซีเมนต์บริษัทที่ 1 ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีลักษณะผลึกแตกต่างจากซีเมนต์กลุ่มอื่น ซึ่งอาจเป็นผลจากการผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสเข้าไป ทำให้การสร้าง

ผลึกเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ ในขณะเตรียมชิ้นงานของซีเมนต์กลุ่มนี้ สังเกตพบว่าเป็นซีเมนต์กลุ่มที่มีความชื้นสูงที่สุด แม้ว่าจะกำจัดความชื้นในตู้กำจัดความชื้นแล้วก็ตาม ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับการก่อตัวของผลึก ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่แข็งตัวเต็มที่แล้วพบว่าซีเมนต์ทุกกลุ่มมีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์และบิสมัตออกไซด์ แต่ไม่พบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่ม อาจเนื่องมาจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอพบองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ และพบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอนุภาคของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้มากและทั่วถึง ทำให้ได้ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากเพียงพอที่จะตรวจพบได้ แต่อย่างไรก็ตาม ความเป็นกรดด่างของซีเมนต์ทุกกลุ่มสูงขึ้นนับตั้งแต่เริ่มผสมจนซีเมนต์แข็งตัว ซึ่งความเป็นกรดด่างอาจจะเกิดจากแคลเซียมออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำและความชื้นเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแตกตัวได้หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group)[26,27] ซึ่งการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารประกอบจากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ชิ้นตัวอย่างจะค่อนข้างแห้งและมีความชื้นน้อย ซึ่งอาจเป็นผลให้ตรวจไม่พบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ความเป็นกรดด่างของซีเมนต์ทุกกลุ่มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อซีเมนต์เริ่มแข็งตัว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากซีเมนต์ที่แข็งตัวมากขึ้นจะยอมให้น้ำซึมผ่านได้ลดลง น้ำจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ช้าและเกิดผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความเป็นด่างในอัตราที่น้อยลง แต่เมื่อซีเมนต์ถูกผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส ทำให้ปฏิกิริยาการก่อตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนในซีเมนต์ได้ดีและเป็นการพาน้ำเข้าสู่อนุภาคที่อยู่ลึกเข้าไปในชิ้นซีเมนต์และเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น[28] ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความเป็นด่างเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงพบว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีความเป็นด่างสูงขึ้นเร็วกว่าเมื่อเทียบกับซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทจะมีความเป็นกรดด่างที่ไม่สูงเท่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ แต่ก็สูงเพียงพอที่จะทำลายจุลชีพได้[29] จึงน่าจะมีผลต้านจุลชีพและสามารถปรับสภาพความเป็นกรดด่างของเนื้อเยื่อโดยรอบได้ไม่แตกต่างกัน

ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีความทนแรงอัดที่สูงกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำและไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ เนื่องจากปฏิกิริยาการก่อตัวที่เกิดขึ้นเร็วกว่า ทำให้ซีเมนต์มีความแข็งแรงมากกว่าทั้งในช่วงเวลา 1 วัน และ 21 วัน

จากการศึกษานำร่องเกี่ยวกับเวลาแข็งตัวของซีเมนต์เมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดต่างกันจะได้ระยะเวลาแข็งตัวที่ต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ผิวของซีเมนต์ในแต่ละแม่พิมพ์ไม่เท่ากัน ในการศึกษานี้ทดสอบเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ตามมาตรฐานเอดีเอหมายเลข 53 ปี 2008 ซึ่งแนะนำให้ใช้แม่พิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร พบว่าระยะเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเร่งการแข็งตัวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งมีคุณสมบัติดูดน้ำ (hygroscopic) ทำให้น้ำสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของซีเมนต์ได้ง่ายขึ้น[22] เมททิลเซลลูโลสซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานจะทำให้น้ำที่ใช้ในอัตราส่วนผสมของส่วนน้ำน้อยลง ส่งผลให้ซีเมนต์แข็งตัวได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีเนื้อเนียนและสามารถปั้นแต่งได้ง่ายกว่า

สภาพละลายได้ในวันที่ 1 ของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่นไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะมีสภาพละลายได้ที่น้อยกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมททิลเซลลูโลสเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดสภาพละลายได้ที่มากในช่วงแรก แต่เมื่อซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่จนถึงวันที่ 21 พบว่าซีเมนต์ทุกกลุ่มมีสภาพละลายได้ที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามซีเมนต์ทุกกลุ่มในทุกช่วงเวลามีสภาพละลายได้ที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876 ปี 2001 ซึ่งกำหนดให้สภาพละลายได้ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 3

การศึกษานี้ผสมบิสมัตออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาว เนื่องจากมีการศึกษาที่แนะนำว่าร้อยละ 20 ของบิสมัตออกไซด์จะทำให้ซีเมนต์มีความทึบเพียงพอต่อการใช้งานในคลองรากฟัน[30] ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะพบว่ามีความทึบรังสีที่ไม่แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ส่วนซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่นจะมีความทึบรังสีที่น้อยกว่า การศึกษานี้พบว่า

ความทึบรังสีของซีเมนต์แต่ละชนิดเทียบเท่ากับอลูมิเนียมความหนา 4.75 ถึง 5.65 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมาเล็กน้อย (6.04 ถึง 6.74 มิลลิเมตร)[11,15] อาจเนื่องมาจากความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมที่วัดเทียบ และชั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นแต่ละชั้นในแต่ละการศึกษาแตกต่างกัน การศึกษานี้เลือกใช้อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 98 และชั้นความหนาเพิ่มขึ้นชั้นละ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีความละเอียดมากกว่าการศึกษาที่ผ่านมา[15] นอกจากนี้การศึกษานี้ยังได้พัฒนาใช้การถ่ายภาพรังสีดิจิตอลและเทียบความทึบรังสีจากค่าเกรย์สเกลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะลดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการล้างฟิลม์และการอ่านค่าความทึบรังสีได้ดีกว่า

จากการพัฒนาคุณภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย โดยผสมซีเมนต์กับสารเร่งเวลาแข็งตัวจะได้ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี แต่อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพและการตอบสนองของเนื้อเยื่อในร่างกายสัตว์ทดลองก่อนนำไปจริงในมนุษย์

สรุป

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัตออกไซด์เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีระยะเวลาการแข็งตัวที่น้อยกว่า และมีความทนแรงอัดสูงกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่น มีสภาพละลายได้ที่ 21 วัน และความทึบรังสีไม่แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความเป็นด่างต่ำกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอเล็กน้อย ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อนำมาใช้แทนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการในแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ทุนจุฬาฯ 100 ปี) ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาด้านสถิติ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุ และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้คำปรึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Friedman S. Retrograde approaches in endodontic therapy. Endod Dent Traumatol. 1991;7:97-107.
2. 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;1:258-71.
3. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. J Endod. 1995;21:489-92.
4. Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tziafas D. Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. Int Endod J. 2003;36:44-8.
5. Koulaouzidou EA, Papazisis KT, Economides NA, Beltes P, Kortsaris AH. Antiproliferative effect of mineral trioxide aggregate, zinc oxide-eugenol cement, and glass-ionomer cement against three fibroblastic cell lines. J Endod. 2005;31:44-6.
6. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to Mineral Trioxide Aggregate. J Endod. 1998;24:543-7.
7. 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;37:432-9.
8. Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. Biomaterials. 1999;20:167-73.
9. 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;23:225-8.
10. 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: 3-8.
11. Islam I, Chng HK, Yap AU. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. Int Endod J. 2006;39:220-5.
12. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghoddusi J, Kheirieh S, Brink F. Comparison of mineral trioxide aggregate's composition with Portland cements and a new endodontic cement. J Endod. 2009;35:243-50.
13. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. Dent Mater. 2005;21:297-303.
14. Funteas UR, Wallace JA, Fochtman EW. A comparative analysis of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement. Aust Endod J. 2003;29:43-4.
15. Hwang YC, Lee SH, Hwang IN, Kang IC, Kim MS, Kim SH, et al. Chemical composition, radiopacity, and biocompatibility of Portland cement with bismuth oxide. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2009;107:e96-102.
16. Sirichaiwongsakul S, Panichuttra A. Chemical compositions and physical properties of Thai white Portland cement with bismuth oxide versus white ProRoot® MTA. CU Dent J. 2008;31:145-58.
17. Saidon J, He J, Zhu Q, Safavi K, Spangberg LS. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2003;95:483-9.
18. Ribeiro CS, Kuteken FA, Hirata Junior R, Scelza MF. Comparative evaluation of antimicrobial action of MTA, calcium hydroxide and Portland cement. J Appl Oral Sci. 2006;14:330-3.
19. de Morais CA, Bernardineli N, Garcia RB, Duarte MA, Guerisoli DM. Evaluation of tissue response to MTA and Portland cement with iodoform. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006;102:417-21.
20. Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. J Endod. 2007;33:1231-4.
21. Wiltbank KB, Schwartz SA, Schindler WG. Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. J Endod. 2007;33:1235-8.
22. Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Felippe WT, Tanomaru Filho M, Esberard RM. The influence of calcium chloride on the setting time, solubility, disintegration, and pH of mineral trioxide aggregate and white Portland cement with a radiopacifier. J Endod. 2009;35:550-4.
23. Jearanaipaisal T, Ratisuntorn C. Cytotoxicity of two Thai white Portland cements mixed with bismuth oxide on primary human osteoblasts. CU Dent J. 2009;32:179-89.
24. Komabayashi T, Spangberg LS. Particle size and shape analysis of MTA finer fractions using Portland cement. J Endod. 2008;34:709-11.
25. Komabayashi T, Spangberg LS. Comparative analysis of the particle size and shape of commercially available mineral trioxide aggregates and Portland cement: a study with a flow particle image analyzer. J Endod. 2008;34:94-8.
26. Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2003;95:345-7.
27. Holland R, de Souza V, Murata SS, Nery MJ, Bernabe PF, Otoboni Filho JA, et al. Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. Braz Dent J. 2001;12:109-13.
28. Ramachandran VS. Concrete admixtures handbook. New Jersey: Noyes Publications; 1984.
29. Padan E, Bibi E, Ito M, Krulwich TA. Alkaline pH homeostasis in bacteria: new insights. Biochim Biophys Acta. 2005;1717:67-88.
30. Kim EC, Lee BC, Chang HS, Lee W, Hong CU, Min KS. Evaluation of the radiopacity and cytotoxicity of Portland cements containing bismuth oxide. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008;105:e54-7.

Chemical composition and physical properties of Thai white Portland cements and bismuth oxide mixed with calcium chloride and methyl cellulose

Punyawee Werasopon D.D.S.[1]
Anchana Panichuttra D.D.S., M.Sc., Ph.D.[2]

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

Abstracts

Objective To investigate the chemical composition and physical properties of Thai white Portland cement with bismuth oxide mixing with calcium chloride and methyl cellulose compared to Thai white Portland cement with bismuth oxide when mixed with sterile water and white ProRoot® MTA mixed with sterile water.

Materials and methods Ten samples of Thai white Portland cements from two manufacturers with bismuth oxide mixed with sterile water or liquid with additive (5% calcium chloride and 1% methyl cellulose) and white ProRoot® MTA mixed with sterile water were prepared in each group. Chemical composition of set cement was analyzed with X-ray diffractometer and morphological characteristic was observed by SEM. The pH, setting time, radiopacity, compressive strength and solubility were tested. The results were analyzed with one-way ANOVA at 0.05 level of confidence.

Results White ProRoot® MTA mixed with sterile water and Thai white Portland cement with bismuth oxide mixed with calcium chloride and methyl cellulose or mixed with sterile water have the similar chemical composition. However, particles of white ProRoot® MTA appeared smaller than the two Portland cements. Small amount of calcium hydroxide was detected in white ProRoot® MTA mixed with sterile water but not in other groups. The pH of all cements were rapidly increased after mixing. White ProRoot® MTA showed the highest pH (12.07) when cements were fully set. White Portland cements with calcium chloride and methylcellulose has the significantly higher pH than the groups mixed with sterile water. The setting time of white Portland cements mixed with calcium chloride and methylcellulose was statistically significantly shorter but higher compressive strength at 21 days when

compared to the cements mixed with sterile water. White Portland cements mixed with calcium chloride and methycellulose have the statistically significant higher solubility than the cements mixed with sterile water in the first day but all cements have the similar solubility after 21 days.

Conclusion Thai white Portland cements with bismuth oxide mixing with calcium chloride and methyl cellulose have shorter setting time but higher compressive strength when compared to those mixed with sterile water, while, the solubility at 21 days and radiopacity are similar to those of white ProRoot® MTA. However, their pH are slightly lower than white ProRoot® MTA. Overall physical properties of Portland cement with calcium chloride and methycellulose is satisfactory and has potential to be developed as a substitutable material in the future.

(CU Dent J. 2010;33:207-20)

Key words: *calcium chloride; chemical composition; methyl cellulose; physical property; Portland cement; white ProRoot® MTA*