

## อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### อภิปรายผลการวิจัย

ปัจจุบันการศึกษาที่เปรียบเทียบเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีค่อนข้างน้อย เนื่องจากเพิ่งเริ่มมีการนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาใช้ และยังคงต้องการเดิมสารบางชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ได้ใกล้เคียงกับเอ็มทีเอ

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.)เลขที่ 133 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดคุณสมบัติของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาว ซึ่งมีเพียง 2 บริษัทเท่านั้นคือ ตราช้างเผือกและตรากิเลน เทียบกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยพบว่า มีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ยกเว้นบิสฟัทออกไซด์ คล้ายกับการศึกษาของ Song และคณะ (2006: 808 – 15) ที่ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเอ็มทีเอชนิดต่างๆพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีส่วนประกอบหลักต่างจากเอ็มทีเอ โดยไม่พบบิสฟัทออกไซด์ และยังคงคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ (2006: 220 – 225) ที่ศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบของเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้งในรูปแบบสีเทาและสีขาวพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีส่วนประกอบคล้ายกับเอ็มทีเอ ยกเว้นบิสฟัทออกไซด์ที่พบได้ในเอ็มทีเอ แต่ไม่พบในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซึ่งบิสฟัทออกไซด์จะมีผลต่อความที่บ่งสีของวัสดุ

จากการศึกษาความที่บ่งสีพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท มีความที่บ่งสีน้อยกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และยังต่ำกว่าเกณฑ์ไอเอสโอ 6876(2001) (International Organization for Standardization. Specification for dental root canal sealing materials. ISO 6876, 2001) คล้ายกับการศึกษาของ Danesh และคณะ (2006: 213 – 219) ที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความที่บ่งสีของโปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 2 ชนิดในประเทศเยอรมันพบว่า โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความที่บ่งสีมากกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดอย่างน้อยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสฟัทออกไซด์ตามอัตราส่วน 4 : 1 (อัตราส่วนจากการศึกษานำร่อง) จะส่งผลให้ส่วนประกอบทางเคมีและความที่บ่งสีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งแม้ว่าจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทผสมกับบิสฟัทออกไซด์จะมีค่าความที่บ่งสีมากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

อย่างมีนัยสำคัญ แต่จากการประเมินภาพรังสีขั้นต้นด้วยตาเปล่าก่อนนำมาวัดค่าความทึบรังสีด้วยเครื่องวัดความเข้มภาพรังสี พบว่าจะมีความทึบรังสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะให้ผลความทึบรังสีคล้ายกันเมื่อพิจารณานำไปใช้จริงทางคลินิกที่ต้องมีการประเมินจากภาพรังสีด้วยตาเปล่า

จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทมีขนาดอนุภาคใหญ่ แต่เมื่อนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัทไปผสมกับบิสม์ทออกไซด์ด้วยเครื่องบดและผสมสารกลับพบว่า มีขนาดอนุภาคลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการบดและผสมที่หวังผลเพื่อให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับบิสม์ทออกไซด์นั้น ส่งผลให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ได้รับการบดเพิ่มเติมจากการบดระหว่างขั้นตอนการผลิต ส่งผลให้ขนาดอนุภาคลดลง อย่างไรก็ตามไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีขนาดอนุภาคเล็กสุด

สำหรับลักษณะสัญญาณวิทยาทั้งในส่วนผงและตัวอย่างการศึกษาที่ผสมกับน้ำของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด มีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นอาจส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพมีความคล้ายกันด้วย

ผลการศึกษาความเป็นกรด - เบสพบว่า หลังจากผสมซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดเสร็จพบว่า ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10.6 ส่วนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกและตรากิเลนเมื่อผสมกับบิสม์ทออกไซด์แล้วจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างหลังผสมเสร็จเท่ากับ 11.5 และ 12 ตามลำดับ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่งจึงจะมีค่าคงที่ โดยไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกผสมกับบิสม์ทออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด - เบสคงที่เท่ากับ 12.5 ที่เวลา 23 นาที และ 24 นาทีตามลำดับ ส่วนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตรากิเลนผสมกับบิสม์ทออกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด - เบสคงที่ด้วยค่า 12.6 ที่เวลา 16 นาที คล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ (2006b: 193 – 197) ที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าความเป็นกรด - เบสของเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้งสี่เทาและขาวพบว่า ค่าความเป็นกรด - เบสของวัสดุจะมีค่าต่ำ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 นาที หลังจากนั้นจะมีค่าความเป็นกรด - ด่างที่คงที่ ซึ่งค่าความเป็นกรด - เบสของตัวอย่างการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด - เบสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นตัวอย่างการศึกษาทั้ง 3 ตัวอย่างน่าจะมีผลช่วยส่งเสริมให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็งคล้ายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้เป็นวัสดุอุดข้อปลastrากฟันได้ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Holland และคณะ (2001a: 3 – 8) ที่ฝังท่อเนื้อฟัน ที่มีเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลงไป เนื้อเยื่อยึดต่อได้ผิวหนังของหนู (rat subcutaneous connective tissue) และวิเคราะห์ผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อยึดต่อได้ผิวหนังของหนูทางวิทยาเนื้อเยื่อ (histological analysis) เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน และ 30 วัน พบว่าเนื้อเยื่อยึดต่อได้ผิวหนังของหนูจะตอบสนองต่อวัสดุทั้ง 3 ชนิดคล้ายกัน โดยเกิดเป็นเนื้อเยื่อแข็งที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ มีลักษณะคล้ายสะพาน (irregular tissue like a bridge) ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิด มีกลไกการเหนี่ยวนำให้เกิดเนื้อเยื่อแข็งที่คล้ายกัน

การศึกษาเกี่ยวกับเวลาแข็งตัวนั้น ได้เลือกศึกษาเวลาแข็งตัว 2 ช่วงเวลาคือ เวลาแข็งตัวเริ่มต้น และเวลาแข็งตัวเต็มที่ ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001) (International Organization for Standardization. Specification for dental root canal sealing materials. ISO 6876, 2001) ที่แนะนำให้วัดเวลาการแข็งตัวตามสมาคมวิจัยวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials. Standard test method for time and setting of hydraulic-cement paste by Gillmor needles. ASTM C266-03) สำหรับพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย จะกำหนดอัตราส่วนผสมนี้คือ ผง : น้ำ = 1 กรัม : 0.3 มิลลิลิตร โดยนำมาจากการศึกษานำร่องซึ่งพบว่า อัตราส่วนนี้ได้ซีเมนต์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีกลมกลืน (consistency) เหมาะสม ไม่ข้นหรือเหลวจนเกินไป ส่งผลดีต่อการนำมาใช้ และได้คุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม เช่น ระยะเวลาแข็งตัวที่ไม่เร็วหรือนานจนเกินไป จากผลการศึกษาพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสฟีนอลเอไดออล 2 บริษัท มีเวลาแข็งตัวเต็มที่น้อยกว่าโปรรูทเอ็มทีเอ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ (2006b: 193 – 197) ที่ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการแข็งตัวของเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้งสีเทาและสีขาว โดยอ้างอิงจากมาตรฐานเดียวกับการศึกษานี้ และผลการศึกษาพบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวจะมีเวลาแข็งตัวเต็มที่น้อยกว่าเอ็มทีเอสีขาว ซึ่งน่าจะเป็นผลดีต่อการใช้ในทางคลินิกที่นำมาปิดปลายรากฟัน หรือปิดรอยทะลุ ซึ่งอาจจะต้องสัมผัสกับความชื้นต่างๆ

ความทนแรงอัดของซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Islam และคณะ (2006b: 193 – 197) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความทนแรงอัดของเอ็มทีเอสีเทาและสีขาว และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีเทาและสีขาว ซึ่งได้ผลการศึกษาลำดับกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบว่าความทนแรงอัดของตัวอย่างการศึกษามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้ในน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป จึงอาจกล่าวได้ว่าความชื้นมีผลส่งเสริมให้ความทนแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นได้ และจากภายได้สภาวะของการศึกษานี้ แม้จะพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการศึกษาของตัวอย่างการศึกษากันทั้ง 3 กลุ่มเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน และ 21 วัน อย่างไรก็ตามก็มีผลน้อยมากเมื่อพิจารณาใช้ซีเมนต์ดังกล่าวเป็นวัสดุอุดขั้วปลายราก เนื่องจากไม่ได้รับแรงจากการบดเคี้ยวโดยตรง

ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดมีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) และมีสภาพละลายตัวน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน 7 วัน และ 21 วัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Islam และคณะ (2006b: 193 – 197) พบว่าเอ็มทีเอสีขาวจะมีการละลายตัวมากกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการการละลายที่ดีกว่าเอ็มทีเอสีขาว จึงน่าจะเป็นประโยชน์เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุอุดขั้วปลายราก เนื่องจากต้องมีการสัมผัสกับความชื้นโดยตรง

### สรุปผลการวิจัย

ภายใต้สภาวะการศึกษานี้พบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทยทั้ง 2 บริษัท เมื่อผสมกับบิสม์ทออกไซด์แล้ว มีส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คล้ายกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษานำร่องเกี่ยวกับคุณสมบัติบางประการของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทยผสมกับบิสม์ทออกไซด์ อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพบางประการเพิ่มขึ้น เช่น คุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงมิติ (dimensional change) ของวัสดุหลังจากก่อตัวเต็มที่ นอกจากนี้ยังต้องศึกษาเกี่ยวกับความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อบริเวณรอบปลายรากฟันทั้งในทางห้องปฏิบัติการและในร่างกายที่มีชีวิต และในสัตว์ทดลองก่อนนำมาใช้จริงในทางคลินิกต่อไป