

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทย
ที่มีบิสฟีนอลเอไซด์เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส

นายบุญยวีร์ วีระโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาเอ็นไอคอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF THAI WHITE PORTLAND
CEMENTS AND BISMUTH OXIDE MIXED WITH CALCIUM CHLORIDE
AND METHYL CELLULOSE

Mr. Punyawee Werasopon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Endodontology

Department of Operative Dentistry

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ต
แลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มี
บิสฟีนอลเอไอโซเมอร์ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิล
เซลลูโลส

โดย

นายปยุตยวีร์ วีระโสภณ

สาขาวิชา

วิทยาเอ็นโดดอนต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร.อัญชณา พานิชอัตรา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิงวัชรภาภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร.ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร.อัญชณา พานิชอัตรา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร.ชุตินา ระติสุนทร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง คุณเมตตจิตต์ นวจินดา)

ปทุมยวีร์ วีระโสภณ : องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัทออกไซด์เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส. (CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF THAI WHITE PORTLAND CEMENTS AND BISMUTH OXIDE MIXED WITH CALCIUM CHLORIDE AND METHYL CELLULOSE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพญ.ดร.อัญชนา พานิชอัตรา, 83 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัทออกไซด์เมื่อผสมกับแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส เปรียบเทียบกับ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่มีบิสมัทออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น และ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น เตรียมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยจากสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่นหรือของเหลวที่มีสารเร่งการแข็งตัวและไวท์โปรรูทเอ็มทีเอผสมด้วยน้ำกลั่น อย่างละ 10 ตัวอย่าง ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์และศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด วัดความเป็นกรดต่าง ระยะเวลาแข็งตัว ความที่บรังสี ความทนแรงอัด และสภาพละลายได้ วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียว ($p < 0.05$) ซีเมนต์ทุกกลุ่มมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกัน ยกเว้นไวท์โปรรูทเอ็มทีเอที่พบอนุภาคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีความเป็นด่างสูงที่สุด (12.07) เมื่อซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเร่งเวลาแข็งตัวจะมีเวลาการแข็งตัวที่สั้นกว่า แต่มีความทนแรงอัดที่ 21 วันสูงกว่า ซีเมนต์กลุ่มที่ผสมน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเร่งเวลาแข็งตัวมีสภาพละลายได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันแรก แต่เมื่อผ่านไป 21 วัน ซีเมนต์ทุกกลุ่มมีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกัน พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัทออกไซด์เมื่อผสมด้วยสารเร่งเวลาแข็งตัวมีคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมที่ดี และมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อใช้เป็นวัสดุอุดอุดย่อนปลายรากได้

ภาควิชา.....ทันตกรรมหัตถการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิทยาเถินโคดอนต์..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา...2552.....

5176119132 : MAJOR ENDODONTOLOGY

KEY WORDS : CALCIUM CHLORIDE / CHEMICAL COMPOSITION / METHYL CELLULOSE /
PHYSICAL PROPERTY / PORTLAND CEMENT / WHITE ProRoot® MTA

PUNYAWEE WERASOPON : CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL
PROPERTIES OF THAI WHITE PORTLAND CEMENTS AND BISMUTH OXIDE
MIXED WITH CALCIUM CHLORIDE AND METHYL CELLULOSE.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF. ANCHANA PANICHUTTRA Ph.D., 83 pp.

The purpose of this study was 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. Ten samples of two manufacturers of Thai white Portland cement with bismuth oxide mixed with sterile water or liquid with additive and white ProRoot® MTA mixed with sterile water were prepared. Chemical composition and morphological characteristic was analyzed. 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. The results show that all cement types have the similar chemical composition except white ProRoot® MTA which contains calcium hydroxide. White ProRoot® MTA showed the highest pH (12.07) when cements were fully set. The setting time of Portland cement mixed liquid with additive was statistically significant shorter but higher compressive strength at 21 days when compared to the cements mixed with sterile water. Cements mixed with liquid with additive have the statistically significant higher solubility in the first day but not different after 21 days. Thai white Portland cements with bismuth oxide mixing with liquid with additive have good physical properties and have potential to be developed as a root-end filling material.

Department : Operative Dentistry

Student's Signature :

Field of Study : Endodontology

Advisor's Signature :

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันและผู้มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ดังรายนามต่อไป

ผศ.ทพญ.ดร.อัญชญา พานิชอัครา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

อาจารย์สาขาวิชาวิทยาเข็นโตดอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนจรรยาบรรณให้แก่ข้าพเจ้า

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาวิเคราะห์ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์ในการเตรียมสารในงานวิจัย

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นสถานที่ให้ความรู้ อบรมจรรยาบรรณ และปลูกจิตสำนึกที่ดีแก่ข้าพเจ้า

บิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมสั่งสอนและให้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่กำเนิด

เพื่อน พี่ น้อง ทันตแพทย์ที่ทำงาน และที่คณะทันตแพทยศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
พอร์ตแลนดชีเมนต์และเอ็มทีเอ.....	6
แคลเซียมคลอไรด์.....	9
เมททิลเซลลูโลส.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
ประชากร.....	11
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	11
การเตรียมตัวอย่าง การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง.....	13
วิธีการวิจัย.....	14
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	21
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและสัณฐานวิทยา.....	22
การศึกษาความที่บรังสี.....	27
การศึกษาความเป็นกรดต่าง.....	27
การศึกษาเวลาแข็งตัว.....	28
การศึกษาความทนแรงอัด.....	29
การศึกษาสภาพละลายได้.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	32
สรุปผลการวิจัย.....	32
อภิปรายผล.....	32
ข้อเสนอแนะ.....	34

รายการอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	42
การศึกษาความที่บรังสี.....	43
การศึกษาความเป็นกรดต่าง.....	49
การศึกษาเวลาแข็งตัว.....	56
การศึกษาความทนแรงอัด.....	62
การศึกษาสภาพละลายได้.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงธาตุองค์ประกอบของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมัด ออกไซด์และเอ็มทีเอ.....	8
ตารางที่ 2 แสดงความที่บรังสีของซีเมนต์แต่ละกลุ่มเทียบกับอลูมิเนียมบริสุทธิ์.....	27
ตารางที่ 3 แสดงเวลาแข็งตัวของซีเมนต์และชนิด.....	29
ตารางที่ 4 แสดงความทนแรงอัดของซีเมนต์แต่ละชนิด.....	30
ตารางที่ 5 แสดงสภาพละลายได้ของซีเมนต์และชนิด.....	31

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 เครื่องวิเคราะห์สารประกอบด้วยวิธีวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์.....	15
ภาพที่ 2 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง.....	16
ภาพที่ 3 แสดงการวัดความเป็นกรดต่างบนผิวซีเมนต์.....	17
ภาพที่ 4 ผู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับการทดลองเวลาแข็งตัว.....	18
ภาพที่ 5 เครื่องวัดเวลาแข็งตัว และพื้นผิวซีเมนต์ที่มีรอยกดลักษณะต่าง ๆ.....	18
ภาพที่ 6 เครื่องทดสอบความทนแรงอัด	19
ภาพที่ 7 ขึ้นตัวอย่างแช่น้ำในขวดปากกว้างในการทดสอบสภาพละลายได้.....	20
ภาพที่ 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีชาวดราข้างเผือกที่มีบิสมัด ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น.....	22
ภาพที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีชาวดราข้างเผือกที่มีบิสมัด ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส.....	23
ภาพที่ 10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีชาวดรากิเลนที่มีบิสมัด ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น.....	23
ภาพที่ 11 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีชาวดรากิเลนที่มีบิสมัด ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส.....	24
ภาพที่ 12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไวท์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น.....	24
ภาพที่ 13 แสดงภาพสัณฐานวิทยาพื้นผิวของซีเมนต์ที่แข็งตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	25
ภาพที่ 14 แสดงความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างการศึกษา.....	28

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการรักษาศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ (surgical endodontic treatment) มักมีการตัดปลายรากฟัน (apicoectomy) และการอุดย้อนปลายรากฟัน (retrograde filling)^(1, 2) ปัจจุบันวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากคือ มิเนอร์รัลไตรออกไซด์แอกกรีเกต หรือ เอ็มทีเอ (Mineral Trioxide Aggregate; MTA) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุอื่นหลายประการ เช่น มีความเป็นกรดต่ำที่สูง⁽³⁾ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ที่ดี⁽⁴⁻⁷⁾ มีการตอบสนองของเนื้อเยื่อที่ดี^(8, 9) มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ⁽¹⁰⁾ ด้านทานการรั่วซึมของแบคทีเรียได้⁽¹¹⁾ เหนียวนำไปเกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็งได้⁽¹²⁻¹⁴⁾ แต่อย่างไรก็ตาม เอ็มทีเอมีราคาที่สูง และมีระยะเวลาแข็งตัวนาน ใช้งานยาก⁽¹⁵⁾ ไม่สะดวกในการทำงาน ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งานของ เอ็มทีเอ

เอ็มทีเอประกอบด้วยพอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งมีการศึกษาที่พบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับเอ็มทีเอ เว้นแต่ไม่พบบิสฟัตออกไซด์ใน พอร์ตแลนด์ซีเมนต์⁽¹⁶⁻²¹⁾ เนื่องจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีราคาถูกกว่าเอ็มทีเอและสามารถหาได้ง่าย จึงได้มีการนำพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาพัฒนาโดยผสมบิสฟัตออกไซด์ และพบว่ามีคุณสมบัติทางกายภาพและความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดีเทียบเท่ากับเอ็มทีเอ^(5, 8, 15, 22) แต่อย่างไรก็ตามพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเอ็มทีเอ ก็ยังมีระยะเวลาแข็งตัวที่นาน และใช้งานยาก ต่อมา มีการปรับปรุงคุณภาพพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และพบว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีสารเร่งเวลาการแข็งตัวจะมีระยะเวลาการแข็งตัวที่เร็ว^(23, 24) ด้านทานการรั่วซึมได้ดี⁽²⁵⁾ และสะดวกในการทำงานมากขึ้น แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยเมื่อผสมด้วยสารเร่งเวลาการแข็งตัว จึงเป็นที่น่าสนใจว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของไทยที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพนี้ จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าและอาจนำมาพัฒนาใช้แทน เอ็มทีเอซึ่งมีราคาสูงได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส และเมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส และ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอทีผสมด้วยน้ำกลั่น

สมมติฐานการวิจัย

1. สมมติฐานว่าง : พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ความเป็นกรดต่าง เวลาแข็งตัว ความทนแรงอัด สภาพละลายได้ และความที่บร้งสี ไม่แตกต่างจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)
สมมติฐานแย้ง : พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ความเป็นกรดต่าง เวลาแข็งตัว ความทนแรงอัด สภาพละลายได้ และความที่บร้งสี แตกต่างจากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ผสมด้วยน้ำกลั่น (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)
2. สมมติฐานว่าง : พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ความเป็นกรดต่าง เวลาแข็งตัว ความทนแรงอัด สภาพละลายได้ และความที่บร้งสี ไม่แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอทีผสมด้วยน้ำกลั่น (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)
สมมติฐานแย้ง : พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ความเป็นกรดต่าง เวลาแข็งตัว ความทนแรงอัด สภาพละลายได้ และความที่บร้งสี แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอทีผสมด้วยน้ำกลั่น (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมาต์ออกไซด์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น, พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทที่มีบิสมาต์ออกไซด์เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส และ ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น โดยอ้างอิงและปรับปรุงจากมาตรฐานไอเอสโอ 6876(2001) (International Organization for Standardization. Specification for dental root canal sealing materials. ISO 6876,2001), ไอเอสโอ 9917-1(2007) (International Organization for Standardization. Specification for water-based cements-p.1 : Powder/Liquid acid-base cements. ISO 9917-1,2007), มาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 30 (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) และ มาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 57 (ANSI/ADA. Revised American National Standard/American Dental Association Specification No.57 for endodontic filling and sealing materials, 2008)

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ในการเตรียมชิ้นงานและทำการทดลองจะใช้ผู้วิจัยเพียงคนเดียว
2. ในการศึกษาที่กำหนดให้ใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยของแต่ละบริษัท ที่ผลิตมาจากบรรจุก้อนเดียวกัน

ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น จำเป็นต้องศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ทั้งในหลอดทดลอง (*in vitro*) และในร่างกายสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) ต่อไปในอนาคต ก่อนนำมาประยุกต์ใช้จริงในคลินิกต่อไป

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Bismuth oxide บิสมาต์ออกไซด์

Calcium chloride แคลเซียมคลอไรด์

Chemical composition องค์ประกอบทางเคมี

Methyl cellulose เมททิลเซลลูโลส

Physical properties คุณสมบัติทางกายภาพ

Thai white Portland cement พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย

White ProRoot® MTA ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสฟีนอลเอที่ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาค้นคว้าความเข้ากันได้ทางชีวภาพในหลอดทดลองและในร่างกายสิ่งมีชีวิต และพัฒนาเป็นสูตรผสมที่ทำให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยมีระยะเวลาแข็งตัวที่เร็วและใช้งานได้สะดวก

วิธีดำเนินการวิจัย

วิจัยเชิงทดลอง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การรักษาคลองรากฟันซ้ำเป็นการรักษาแก้ไข เมื่อการรักษาครั้งแรกไม่สำเร็จ โดยทั่วไปจะทำโดยเข้าทำงานผ่านทางส่วนตัวฟัน (orthograde) แต่ในบางสภาวะที่เป็นข้อห้ามในการรักษาฟันซ้ำโดยเข้าทำงานผ่านทางส่วนตัวฟัน เช่น การมีครอบฟันหรือสะพานฟันที่มีสภาพดีอยู่แล้วพร้อมกับการมีเดือยฟันที่ยาวและใหญ่ หรือมีการรอยโรคที่ไม่ตอบสนองต่อการรักษาแม้ว่าจะได้รับการรักษาฟันซ้ำเป็นอย่างดีแล้ว ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ (surgical endodontic therapy) จึงมีบทบาทมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการพัฒนาวิธีการศัลยกรรมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (operating microscope) ทำให้ความสำเร็จของการทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก⁽²⁶⁾ ซึ่งการทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การตัดปลายรากฟัน และการอุดย้อนปลายรากฟันด้วยวัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน เพื่อปิดทางเชื่อมต่อระหว่างระบบคลองรากฟันกับเนื้อเยื่อรอบรากฟัน คุณสมบัติการปิดรอยรั่วที่ปลายราก เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้งานศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ประสบความสำเร็จ^(2, 27) การพัฒนาวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันที่ใช้งานง่ายและแข็งตัวเร็วเพื่อใช้ในการทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์จึงมีความสำคัญต่อความสำเร็จเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การอุดย้อนปลายรากฟันเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการทำศัลยกรรมเอ็นโดดอนติกส์ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันมีด้วยกันหลายประการ คุณสมบัติที่จัดเป็นคุณสมบัติในอุดมคติของวัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน^(28, 29) ได้แก่

1. ใช้งานง่าย (easy manipulation)
2. ทึบรังสี (radiopaque)
3. ไม่ดูดซับ (non absorbable)
4. เนื้อเยื่อรอบรากฟันทนได้ดี (well tolerated by periradicular tissue)
5. ส่งเสริมให้เกิดการหาย (promote healing)
6. ยึดแล้วปิดผนึกกับระบบคลองรากฟันได้ดีทั้งสามมิติ (adhere and seal the root canal system in three dimension)

7. ไม่เป็นพิษ (non-toxic)
8. ยึดกับผนังคลองรากฟันที่ได้รับการเตรียมแล้วได้เป็นอย่างดี (adhere to dentinal wall of root end preparation)
9. เข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility)
10. มีเสถียรภาพเชิงมิติ (dimensional stability)
11. ไม่ไวต่อความชื้น (moisture insensitivity)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการใช้วัสดุอุดย่นปลายรากฟันมาหลายชนิด ได้แก่ อมัลกัม, ซุปเปอร์อีบีเอ (super EBA), ไออาร์เอ็ม (IRM), กลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (glass ionomer cement), เรซินคอมโพสิต (resin composite) และ เอ็มทีเอ (MTA) ซึ่งไม่มีวัสดุใดที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามอุดมคติ⁽²⁸⁾

อมัลกัมเป็นที่นิยมอย่างมากในอดีตเนื่องจากใช้งานง่าย, ราคาถูก และมีความที่บร้งสีที่ดี แต่อมัลกัมมีข้อเสียคือ เกิดการรั่วซึมเบื้องต้น (initial leakage)^(30, 31) การกัดกร่อนภายหลัง (secondary corrosion) ทำให้เนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) และเนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue) ติดสี

ซุปเปอร์อีบีเอเป็นรีอินฟอสซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์เบส (reinforced zinc oxide cement based) ที่ประกอบด้วยยูจีนอล (eugenol) รั้อยละ 32 และอีทอกซีเบนโซอิกแอซิด (etoxybenzoic acid; EBA) รั้อยละ 68 แต่ตัววัสดุมีความไวต่อความชื้น ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ^(6, 32, 33) และละลายตัวมาก⁽²⁹⁾

มิเนอร์ลไตรออกไซด์แอกกรีเกต หรือ เอ็มทีเอ (mineral trioxide aggregate; MTA) เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาจากจากมหาวิทยาลัยโลมาลินดา ในสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้เป็นวัสดุอุดซ่อมแซมกระดูก⁽³⁴⁾ และได้รับการรับรองโดยสหพันธ์ยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Drug Administration : FDA) ในปี 1998 และผลิตออกจำหน่ายภายใต้ชื่อ ProRoot[®] MTA (Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, USA) และพัฒนาเป็นชนิดสีขาวด้วยเหตุผลทางด้านความสวยงาม⁽²¹⁾ ในปี 2002 ภายใต้ชื่อ White ProRoot[®] MTA (Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, USA) ปัจจุบันเอ็มทีเอเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการเป็นวัสดุอุดย่นปลายรากฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีเหนือกว่าวัสดุอุดย่นปลายรากฟันชนิดอื่น ๆ เช่น มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพทั้งในหลอดทดลอง⁽⁶⁾ และในร่างกายสิ่งมีชีวิต^(35, 36) ไม่เป็นพิษต่อเซลล์แอล 929 (L929)⁽⁵⁾ พัลป์เซลล์ (dental pulp cell) ของสุนัข⁽³⁷⁾ และไม่มีพิษต่อสารพันธุกรรม⁽³⁸⁾ (no genotoxicity) นอกจากนี้ยังส่งเสริมให้มีการเกิดใหม่ (regeneration) ของเนื้อเยื่อเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament cell) และมีคุณสมบัติในการต้านจุลชีพ^(39, 40) จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าเอ็มทีเอมีคุณสมบัติที่ดีใกล้เคียง

คุณสมบัติตามอุดมคติหลายประการแต่ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น เวลาการแข็งตัวที่นาน^(3, 41) การใช้งานยาก⁽⁴²⁾ และราคาแพง

ไวท์โปรทูเอเอ็มทีเอ มีส่วนประกอบหลักคือ พอร์ตแลนด์ (Portland cement) ร้อยละ 75 บิสมัทออกไซด์ (bismuth oxide) ร้อยละ 20 และยิปซัมร้อยละ 5 (Material Safety Data Sheet.: Dentsply Tulsa Dental, Tulsa. OK, USA). เอ็มทีเอมีลักษณะเป็นผงสีขาวซึ่งประกอบด้วยไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate), ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate), ไตรแคลเซียมออกไซด์ (tricalcium oxide), ซิลิเกตออกไซด์ (silicate oxide) ซึ่งจะแข็งตัวเมื่อผสมกับน้ำและมีความชื้น⁽¹²⁾ เอ็มทีเอถูกผลิตขึ้นมาจำหน่ายสองรูปแบบคือเกรย์เอ็มทีเอ (grey-MTA) และไวท์เอ็มทีเอ (white-MTA) เอ็มทีเอทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน เว้นแต่ไวท์เอ็มทีเอจะมีเฟอริกออกไซด์น้อยกว่าเกรย์เอ็มทีเอถึงร้อยละ 90.8 ซึ่งทำให้ไวท์เอ็มทีเอมีสีขาว และไม่ทำให้เกิดการติดสีที่ตัวฟันเหมือนกับเกรย์เอ็มทีเอ⁽⁴³⁾ ซึ่งเกรย์เอ็มทีเอและไวท์เอ็มทีเอมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ไม่แตกต่างกัน⁽⁴⁴⁾ และด้านทานการรื้อซึมได้ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้เป็นวัสดุอุดกั้นปลายรากฟัน (apical plug)⁽⁴⁵⁾ ดังนั้นในปัจจุบันไวท์เอ็มทีเอจึงเป็นที่นิยมมากกว่าเกรย์เอ็มทีเอเนื่องจากสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายและไม่ทำให้ฟันติดสี⁽⁴³⁾

เอ็มทีเอมีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 ตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด ปฏิกิริยาการแข็งตัวของเอ็มทีเอเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration mechanism) ซึ่งผงเอ็มทีเอที่ผสมน้ำจะมีลักษณะเป็นเจลคอลลอยด์ (colloidal gel) และจะแข็งตัวเกิดเป็นผลึกโครงสร้าง โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate) เกิดผลผลิตเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (calcium silicate hydrate) ซึ่งทำให้ซีเมนต์แข็งตัว และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยปรับสภาพแวดล้อมของเนื้อเยื่อใกล้เคียงมีความเป็นด่าง และจะเกิดการปลดปล่อยของแคลเซียมไอออน (calcium ion) ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็งขึ้นได้⁽⁴⁶⁾ มีการศึกษาพบว่าเมื่อเอ็มทีเอแข็งตัวภายใต้สภาวะที่มีของเหลวของเนื้อเยื่อ (tissue fluid) จะเกิดการตกตะกอนของไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite) ซึ่งมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับกระดูกได้อย่างดี ส่งเสริมการหายของกระดูกได้ดีกว่าแคลไซต์ (calcite) และยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในเนื้อเยื่อกระดูกอีกด้วย⁽⁴⁷⁾

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลักในเอ็มทีเอตามที่กล่าวมาแล้ว โดยทั่วไปถูกใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้มาจากการบดผสมกันของหินหลายชนิด ผ่านกระบวนการเผาด้วยอุณหภูมิสูง และบดผสมอีกครั้งกับยิปซัมเพื่อควบคุมเวลาแข็งตัวของซีเมนต์⁽⁴⁸⁾ ก่อนบรรจุเพื่อจำหน่าย การแข็งตัวของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ขึ้นกับอัตราส่วนผสมของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปต้องมีอัตรา

ส่วนผสมระหว่าง 0.25-0.75 เพื่อให้ซีเมนต์สามารถทำงานได้⁽⁴⁸⁾ ส่วนประกอบหลักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต และ ไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะเป็นเฟสที่เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นโครงสร้างหลักของซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate) ซึ่งจะเป็นเฟสที่เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่ามากและทำให้ซีเมนต์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับแกนกลางซีเมนต์ต่อไปได้ ทำให้ซีเมนต์เปราะ และไม่แข็งแรง หากพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มียิปซัมเป็นส่วนประกอบ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate) จะทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลเฟต (sulfate group) ในยิปซัม เกิดเป็นเอ็ดตริงไจท์ (ettringite) ซึ่งจะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องช้า ๆ

จากที่กล่าวมาแล้วยิปซัมจะมีความสำคัญอย่างมากต่อการแข็งตัวของซีเมนต์ ซึ่งเอ็มทีเอจะมียิปซัมเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 5 ซึ่งน้อยกว่าที่พบในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์เพื่อการก่อสร้างทั่วไปประมาณครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้เอ็มทีเอยังมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์^(19, 49, 50) และมีโลหะหนักที่เป็นพิษน้อยกว่า ซึ่งจำเป็นต้องใช้กระบวนการผลิตพิเศษที่แตกต่างจากการผลิตพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั่วไป⁽¹⁷⁾

ในการปรับปรุงคุณภาพพอร์ตแลนด์ซีเมนต์เพื่อใช้ในทางทันตกรรมจำเป็นต้องเติมบิสมาต์ออกไซด์ เพื่อให้เกิดความที่บร้งสี อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะทำให้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีความที่บร้งสีเทียบเท่ากับเอ็มทีเอคือ อัตราส่วน 4:1 (เอ็มทีเอต่อบิสมาต์ออกไซด์)⁽¹⁹⁾ การศึกษาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์เทียบกับเอ็มทีเอพบว่ามีส่วนประกอบใกล้เคียงกันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงธาตุองค์ประกอบของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์และเอ็มทีเอ (ร้อยละ)

ธาตุ	พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 1	พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยบริษัทที่ 2	เอ็มทีเอ
แมกนีเซียม	0.49	0.51	0.48
อลูมิเนียม	1.65	1.53	1.76
ซิลิกอน	9.04	9.46	10.96
ซัลเฟอร์	0.81	0.83	0.70

ธาตุ	พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย บริษัทที่ 1	พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย บริษัทที่ 2	เอ็มทีเอ
แคลเซียม	50.63	50.91	50.58
ไทเทเนียม	0.05	0.04	0.03
โครเมียม	0.01	0.01	0.00
เฟอร์รัส	0.18	0.15	0.22
นิกเกิล	0.00	0.00	0.00
สทอรอนเทียม	0.03	0.07	0.09
แคดเมียม	0.00	0.00	0.00
ลิธ	0.09	0.11	0.04
บิสมัท	36.97	36.38	35.14

ดัดแปลงจาก ศิริขวัญ ศิริชัยวงศ์สกุล⁽²²⁾

ทั้งพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเอ็มทีเอมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดีกับเซลล์⁽¹⁹⁾ รวมถึงพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย พบว่าไม่มีพิษต่อเซลล์ออสติโอเบลาสต์ (osteoblast) และเซลล์สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในประเทศไทยและเอ็มทีเอได้ไม่แตกต่างกัน⁽⁵¹⁾

แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride)

แคลเซียมเป็นเกลือชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยธาตุแคลเซียมและคลอไรด์ ยึดกันด้วยด้วยพันธะไอออนิก แคลเซียมคลอไรด์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยใช้เป็นสารเร่งเวลาแข็งตัวของคอนกรีต ในทางการแพทย์แคลเซียมคลอไรด์ใช้แก้ภาวะแคลเซียมในกระแสเลือดต่ำ (hypocalcemia) ช่วยกระตุ้นการบีบตัวของหัวใจ โดยการฉีดเข้าหลอดเลือด ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีความปลอดภัยในการใช้ในร่างกายมนุษย์ ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย และเร่งเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ได้ แคลเซียมจึงถูกนำมาผสมกับเอ็มทีเอ เพื่อให้เอ็มทีเอแข็งตัวเร็ว มีการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเซลล์พบว่า เอ็มทีเอที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ และยังมีฤทธิ์เหนี่ยวนำเซลล์กระดูก (osteoconductive) ได้อีกด้วย⁽⁵²⁾ แคลเซียมคลอไรด์

เป็นสารปรับปรุงคุณภาพสำหรับเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ได้รับความสนใจ และถูกศึกษาอย่างแพร่หลาย แคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยให้ซีเมนต์มีความเป็นด่างมากขึ้น มีการปลดปล่อยแคลเซียมออกไซด์มากขึ้น อีกทั้งยังทำให้ซีเมนต์ผสมง่าย ทำงานได้สะดวกขึ้น⁽⁵³⁾ นอกจากนี้เอ็มทีเอที่ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์จะมีคุณสมบัติต้านทานการรื้อซึมได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเอ็มทีเอที่ผสมด้วยน้ำกลั่น⁽²⁵⁾

เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose)

เมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส มีลักษณะเป็นผงสีขาวที่ละลายน้ำได้ เมื่อเมทิลเซลลูโลสละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้น หรือเจล โดยทั่วไปเมทิลเซลลูโลสใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (emulsifier) เมทิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดกัก (retain) น้ำ จึงนำมาใช้แก้อาการท้องผูกได้ เมทิลเซลลูโลสไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ และใช้เป็นสารหล่อลื่นทางการแพทย์ และส่วนประกอบในการผลิตน้ำลายเทียม

ในทางการแพทย์ เมทิลเซลลูโลสถูกใช้ในการผ่าตัดกระดูกใบหน้า โดยผสมกับแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) ซึ่งใช้เป็นโครงสร้างสำหรับการหายและการเจริญซ่อมแซมของกระดูก แคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมด้วยเมทิลเซลลูโลสแล้วจะปั้นแต่ง ขึ้นรูปได้สะดวก ไม่ถูกชะล้างโดยง่าย ในขั้นตอนการล้างแผลผ่าตัด แข็งตัวเร็ว^(54, 55) แม้ว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะมีความแตกต่างจากแคลเซียมฟอสเฟตอยู่บ้าง แต่ปฏิกิริยาการแข็งตัวเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยอาศัยน้ำเหมือนกัน จึงมีความพยายามใช้เมทิลเซลลูโลสในการปรับปรุงคุณภาพพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และเอ็มทีเอในทางทันตกรรม Ber และคณะ⁽²³⁾ พยายามปรับปรุงคุณภาพพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ด้วยการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสในส่วนน้ำ ซึ่งพบว่าร้อยละ 1 ของเมทิลเซลลูโลสและร้อยละ 2 ของแคลเซียมคลอไรด์ช่วยลดเวลาการแข็งตัวและช่วยให้ซีเมนต์ผสมง่ายขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ด้วยการเติมแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสในส่วนน้ำ อาจจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ความเป็นกรดต่าง ความทนแรงอัด ความที่บร้งสี หรือ สภาพละลายได้ และยังไม่เคยมีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสฟีนอลเอ ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสมาก่อน จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

พอร์ตแลนดซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสฟีนอลเอ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. เอ็มทีเอ ผลิตภัณฑ์ white ProRoot MTA (Dentsply, Tulsa Dental Product, Tulsa, OK, USA)
2. พอร์ตแลนดซีเมนต์สีขาว ที่ได้รับรองจากมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.)เลขที่ 133 (มอก. 133-2518 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว) ผลิตภัณฑ์ช้างเผือก (The siam white cement Co., LTD)
3. พอร์ตแลนดซีเมนต์สีขาว ที่ได้รับรองจากมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.)เลขที่ 133 (มอก. 133-2518 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว) ผลิตภัณฑ์กิเลน (Universal white cement Co., LTD)
4. บิสฟีนอลเอ ผลิตภัณฑ์ Fluka (Sigma-Aldrich, Saint Lious, MO, USA)
5. แคลเซียมคลอไรด์
6. เมททิลเซลลูโลส
7. น้ำกลั่น
8. แผ่นฟอสฟอรัสรังสีเอกซ์ (Phosphor plate) ผลิตภัณฑ์ Kodak (PSP Kodak imaging plate No.4 , Carestream health, Rochester, NY, USA)
9. ลวดทองแดงไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร
10. กระดาษตวงสาร

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องบดและผสมสาร (grinding machine) ผลิตภัณท์ Retsch S1000 (Haan, near Düsseldorf, Germany)
2. แท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ผลิตภัณท์ Ika Labortechnik, Germany)
3. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (humidity chamber)
4. เครื่องกำจัดความชื้น (dessicator)
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) ผลิตภัณท์ JEOL, JSM5410LV (JEOL Ltd., Japan)
6. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer) ผลิตภัณท์ Bruker (Bruker AXS Model D8 Discover, Karlsruhe, Germany)
7. แม่พิมพ์โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร
8. แม่พิมพ์โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตร
9. แม่พิมพ์โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร สูง 1.5 มิลลิเมตร
10. แม่พิมพ์โลหะไร้สนิมแบบแยกส่วนได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร
11. อลูมิเนียมสเต็ปเวจด์ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 98 หนา 0.5 ถึง 9 มิลลิเมตร
12. เครื่องถ่ายภาพรังสี ผลิตภัณท์ Gendex GX 100 (GENDEX corporation, IL, USA)
13. เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง ผลิตภัณท์ Orion 370 (Orion research Inc., Boston, MA, USA)
14. เครื่องเคลือบทอง cold coater ผลิตภัณท์ JFC-1200 (JOEL Ltd, Japan)
15. เครื่องวัดเวลาแข็งตัวที่มีหัวเข็มขนาด 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 กรัม
16. แท่นโลหะ กว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร
17. เครื่องทดสอบความทนแรงอัด ผลิตภัณท์ Instron 8872 (Instron Ltd., High Wycombe, UK)
18. ขวดแก้วปากกว้าง

19. เครื่องชั่งสารทศนิยม 3 ตำแหน่ง
20. เครื่องชั่งสารทศนิยม 5 ตำแหน่ง
21. นาฬิกาจับเวลาเป็นวินาที
22. พายโลหะผสมสาร
23. แผ่นแก้วผสมสาร
24. ข้อนดวงสาร
25. หลอดวัดและถ่ายของเหลวอัตโนมัติ (autopipette) ช่วงความละเอียด 100-1000 ไมโครลิตร ผลิตภัณฑ์ Transferpette (Harikul calibration center)

การเลือกวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

เลือกใช้ไวท์โปรวูทเอ็มทีเอของบริษัทเดนส์พลาย (ประเทศไทย) จำกัด และ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทย ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเลขที่ 133 (มอก.133-2518 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว) ได้แก่ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือก ของบริษัทสยามไวท์ซีเมนต์ จำกัด และ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตรากิเลน ของบริษัทยูนิเวอร์แซล จำกัด

การเตรียมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทยกับบิสมันต์ออกไซด์

ผสมพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทยแต่ละบริษัทกับบิสมันต์ออกไซด์ ในอัตราส่วนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยที่ผลิตในประเทศไทย ต่อบิสมันต์ออกไซด์ เป็น 4:1 โดยน้ำหนัก และเครื่องบดผสมสารเพื่อให้ส่วนประกอบทั้งสองรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เวลา 2 นาทีต่อสาร 100 กรัม

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

1. การเตรียมส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1

นำผงคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) 2 กรัม ผสมในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร นำไปอุ่นและคนสารด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องผสมสาร (magnetic stirrer) จะได้สารละลายเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 2 นำผงแคลเซียมคลอไรด์ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยอุณหภูมิต่ำ จะได้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 10 จากนั้นนำสารละลาย

เมททิลเซลลูโลสร้อยละ 2 และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 10 ผสมกันในอัตราส่วน 1 : 1 จะได้ส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 ที่มีปริมาตร

2. การเตรียมขึ้นตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบ

ผสมผงไวท์โปรวูทเอ็มทีเอกับน้ำกัลันหรือส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 ในอัตราส่วน 1:3 ด้วยพายผสมโลหะบนแผ่นแก้วผสมสารให้ได้ซีเมนต์ที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

การแบ่งกลุ่มทดลอง

แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 5 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่ 1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์ตราช้างเผือก ผสมด้วยน้ำกัลัน (CW)
- กลุ่มที่ 2 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์ตราช้างเผือก ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 (CA)
- กลุ่มที่ 3 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์ตรากิเลน ผสมด้วยน้ำกัลัน (KW)
- กลุ่มที่ 4 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์ตรากิเลน ผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมททิลเซลลูโลสร้อยละ 1 (KA)
- กลุ่มที่ 5 ไวท์โปรวูทเอ็มทีเอ ผสมด้วยน้ำกัลัน (MTA)

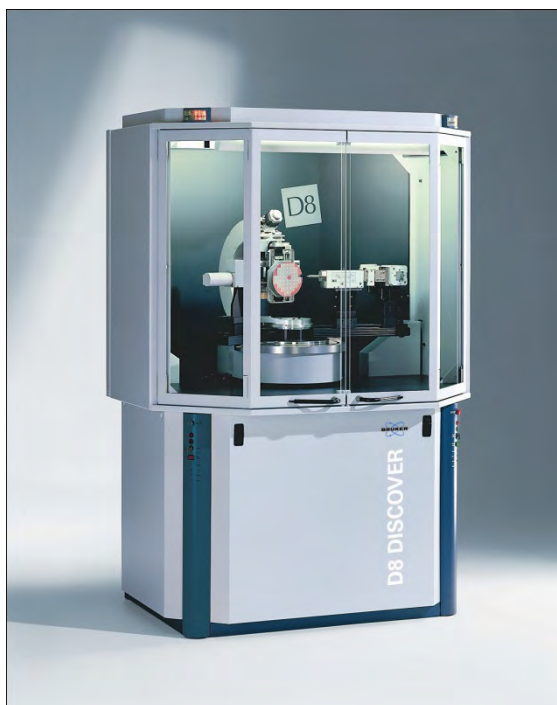
การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี และลักษณะพื้นฐานวิทยา

1.1 การศึกษาส่วนประกอบทางเคมี

นำส่วนผงของไวท์โปรวูทเอ็มทีเอ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมาต์ออกไซด์ผสมกับส่วนน้ำกัลัน หรือส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และ เมททิล

เซลล์โลส ร้อยละ 1 ตามกลุ่มการทดลองที่แบ่งไว้ ปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัวเป็นเวลา 1 วันในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 นำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สารประกอบจากการวิเคราะห์ผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (Bruker AXS Model D8 Discover, Karlsruhe, Germany) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องวิเคราะห์สารประกอบด้วยวิธีวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (Bruker AXS Model D8 Discover, Karlsruhe, Germany)

1.2 การศึกษาลักษณะฐานฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ศึกษาซีเมนต์ที่แข็งตัวเต็มที่แล้ว โดยผสมซีเมนต์ตามกลุ่มการทดลองที่แบ่งไว้ ปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัวเป็นเวลา 1 วันในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บไว้ในเครื่องกำจัดความชื้นเวลา 2 วัน นำไปเคลือบทองแล้วจึงนำไปตรวจดูลักษณะฐานฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดและบันทึกภาพด้วยระบบดิจิทัล

2. การศึกษาความทึบรังสี

ดัดแปลงจากไอเอสโอ 6876(2001) (International Organization for standardization. Specification for dental root canal sealing materials 6876,2001) โดยผสมซีเมนต์กับน้ำกลั่น ตามสัดส่วนที่กำหนด ใส่ในแม่พิมพ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.0 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตร ปิดส่วนบนและส่วนล่างของแม่พิมพ์ด้วยกลาสสไลด์ เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบความทึบ รังสีโดยวางขึ้นตัวอย่างบนแผ่นรับรังสีฟอสฟอรัสขนาดเบอร์ 4 (Kodak PSP Imaging plate No.4) ถ่ายภาพรังสีเทียบกับบอลูมิเนียม สเต็ปเวดจ์ที่มีความบริสุทธิ์ของบอลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 98 และ มีความหนา 0.5 – 9 มิลลิเมตร โดยหนาขึ้นทุก ๆ 0.5 มิลลิเมตรในแต่ละชั้น (ภาพที่ 2) ตั้งเครื่อง ถ่ายภาพรังสีที่ 70 กิโลโวลต์ (kV) กระแสไฟฟ้า 10 มิลลิแอมแปร์ (mA) และระยะเวลาในการ สัมผัสรังสี (exposure time) 0.22 วินาที กำหนดระยะห่างกระบอกรังสี 20 มิลลิเมตร สแกนฟิล์ม ด้วยเครื่องอ่านฟิล์ม (Kodak CR7400) และวัดความทึบรังสีเป็นค่าเกรย์สเกล (grey scale value) ด้วยโปรแกรม Infinit[®] Full PAC (Infinit Co., Ltd. Soule, Korea) ทำการทดสอบกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง และวิเคราะห์สถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05

3. การศึกษาความเป็นกรดต่าง

ผสมซีเมนต์ตามกลุ่มทดลอง บันทึกค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด ต่าง โดยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง ผลิตภัณฑ์ Orion 370 (Orion research Inc., Boston, MA, USA) ตามภาพที่ 2 บันทึกค่าทุก ๆ 2 นาทีตั้งแต่เริ่มผสมจนถึงเวลา 60 นาที (ภาพที่ 3) ทำการ ทดลองกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง และนำค่าเฉลี่ยไปสร้างกราฟ ทดสอบและวิเคราะห์สถิติด้วยการ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ช่วงเวลา 2, 30 และ 60 นาที ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 2 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง ผลิตภัณฑ์ Orion 370

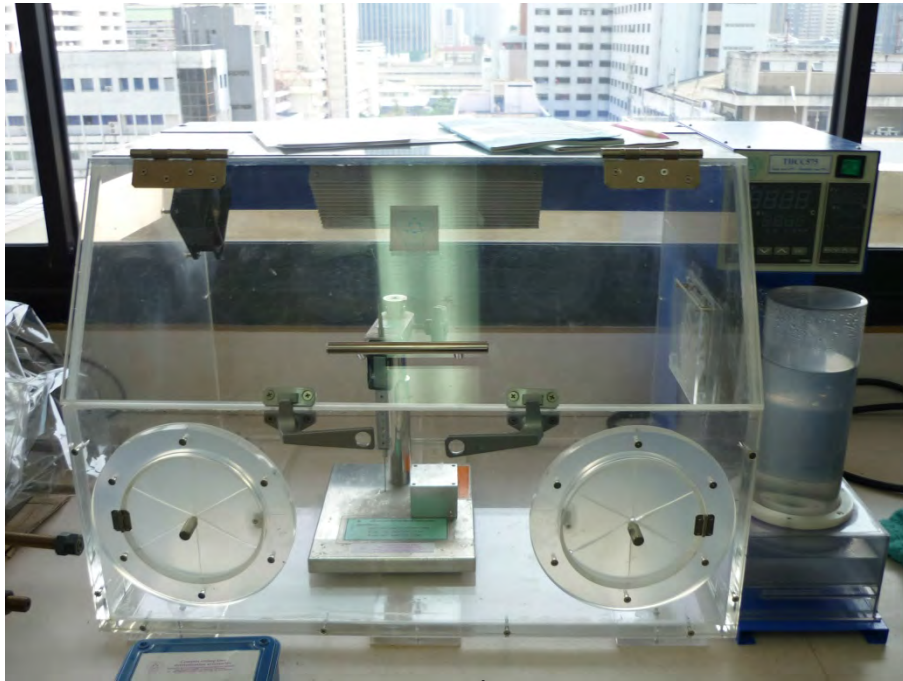
(Orion research Inc., Boston, MA, USA)



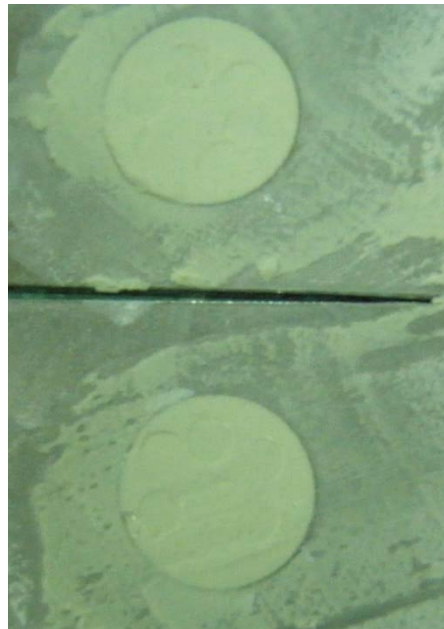
ภาพที่ 3 แสดงการวัดความเป็นกรดบนผิวซีเมนต์

4. การศึกษาเวลาการแข็งตัว

ประยุกต์ตามมาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 57 ปี 2008 (ANSI/ADA Revised American National Standard / American Dental Association Specification No.57 for Endodontic Filling and Sealing Materials, 2008) ซึ่งแนะนำให้ใช้แม่พิมพ์โลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร กดด้วยเข็มวัดขนาดหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 กรัม โดยเตรียมเครื่องมือทุกชนิดไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสก่อนทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นผสมซีเมนต์ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 (ภาพที่ 4) โดยจะวัดเวลาแข็งตัวทุก ๆ 30 วินาที โดยปล่อยเข็มในแนวตั้งช้า ๆ จนกดบนพื้นผิวซีเมนต์บันทึกเวลาแข็งตัวเมื่อเข็มกดไม่ทำให้เกิดรอยกลมบนผิวของชิ้นตัวอย่าง (ภาพที่ 5) ทดสอบซ้ำกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง วิเคราะห์ผลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สำหรับการทดลองเวลาแข็งตัว



ภาพที่ 5 แสดงเครื่องวัดเวลาแข็งตัว และพื้นผิวซีเมนต์ที่มีรอยกดลักษณะต่าง ๆ

5. การศึกษาความทนแรงอัด

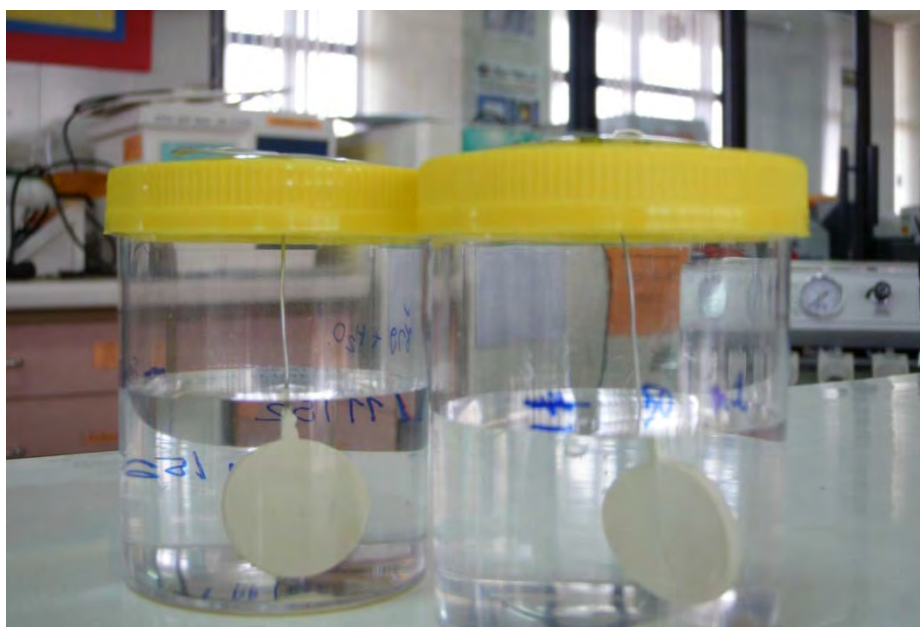
ประยุกต์ตามมาตรฐานไอเอสไอ 9917-1 : 2003 (International organization for standardization. Dentistry – Water-based cements part I : Powder/liquid acid-base cement ISO 9917-1,2003) โดยเตรียมเครื่องมือทุกชนิดไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสก่อนทดสอบเป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นผสมซีเมนต์ในแม่พิมพ์สแตนเลสชนิดแยกส่วนได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 จนแข็งตัวเต็มที่ เอาตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ตรวจหาจุดบกพร่อง เลือกเฉพาะตัวอย่างที่ไม่มีตำหนิ นำไปแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 1 วันและ 21 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างมาทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่องอินสตรอน 8872



ภาพที่ 6 เครื่องทดสอบความทนแรงอัด ผลิตภัณฑ์ Instron 8872 (Instron Ltd., High Wycombe, UK)

6. การศึกษาสภาพละลายได้

ประยุกต์ตามมาตรฐานเอดีเอ หมายเลข 30 ปี 1991 (ANSI/ADA Revised American National Standard / American Dental Association Specification No.30 for dental zinc oxide eugenol cement and zinc oxide noneugenol cement 7.5, 1991) โดยเตรียมเครื่องมือทุกชนิดไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นผสมซีเมนต์ในแม่พิมพ์สแตนเลสชนิดแยกส่วนได้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นผสมซีเมนต์ใส่ในแม่พิมพ์ พร้อมทั้งลวดทองแดงไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร ในแม่พิมพ์ ปิดทับด้วยแผ่นไมลาร์สไตรป (mylar strip) ก่อนปิดทับอีกครั้งด้วยแผ่นโลหะ นำไปยึดด้วยตัวหนีบยึด (clamp) และเก็บในตู้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำซีเมนต์ออกจากแม่พิมพ์ตรวจดูจุดบกพร่อง เลือกเฉพาะตัวอย่างที่ไม่มีตำหนิ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นด้วยเครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง แล้วนำไปใส่ขวดปากกว้างที่มีน้ำกลั่นบรรจุ 50 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 7 และ 21 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องกำจัดความชื้น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง ก่อนนำกลับไปแช่น้ำต่ออีกครั้ง ทำซ้ำกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง นำน้ำหนักที่ชั่งได้ในแต่ละช่วงเวลา มาคำนวณสภาพละลายได้เป็นร้อยละ และวิเคราะห์สถิติความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 7 ชั่งตัวอย่างแช่น้ำในขวดปากกว้างในการทดสอบสภาพละลายได้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ความถี่รังสี ความเป็นกรดต่างที่นาที่ที่ 2 30 และ 60 ความทนแรงอัด ร้อยละของสภาพละลายได้ที่ 1 7 และ 21 วัน และเวลาแข็งตัว วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS 13 วิเคราะห์ข้อมูลดิบของแต่ละส่วนการทดลอง โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

(รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงไว้ในภาคผนวก)

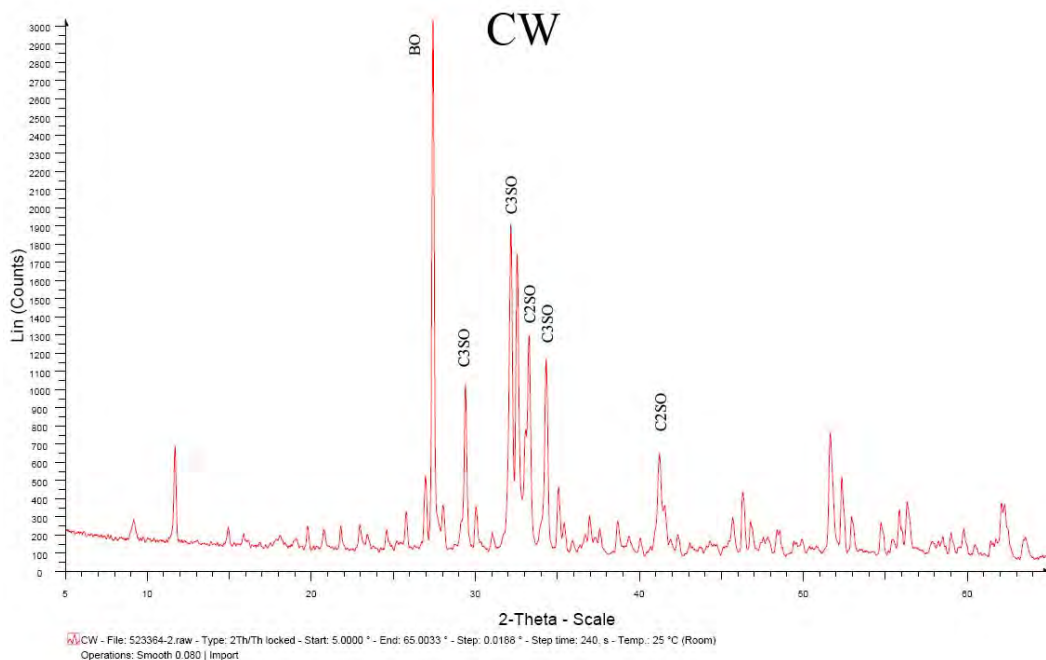
ผลการเปรียบเทียบ

1. การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและสัณฐานวิทยา

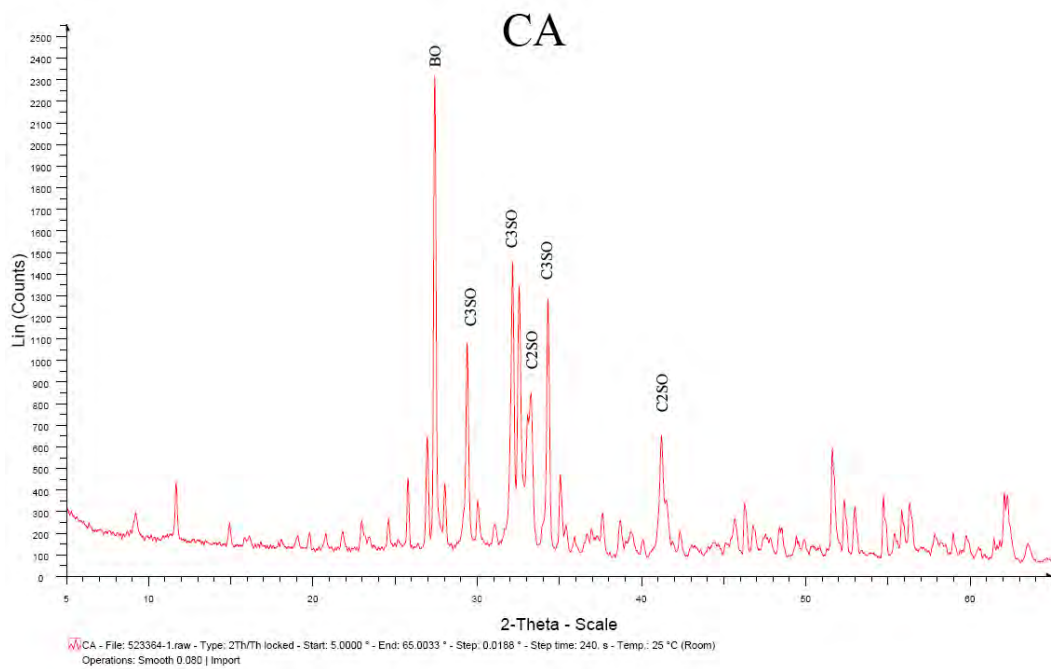
พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสมต์ออกไซด์ทั้งสองบริษัท ทั้งที่ผสมด้วยน้ำกลั่นและและแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส จะไม่พบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบ ส่วนไวท์โปรรูทเอ็มที่เจอพบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบเล็กน้อย โดยตัวอย่างทั้ง 5 กลุ่มจะมีไตรแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ (tricalcium silicate oxide), ไดแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ (dicalcium silicate oxide) และ บิสมต์ออกไซด์ (bismuth oxide) เป็นส่วนประกอบหลัก

กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีเมนต์แต่ละชนิด แสดงในภาพที่ 8

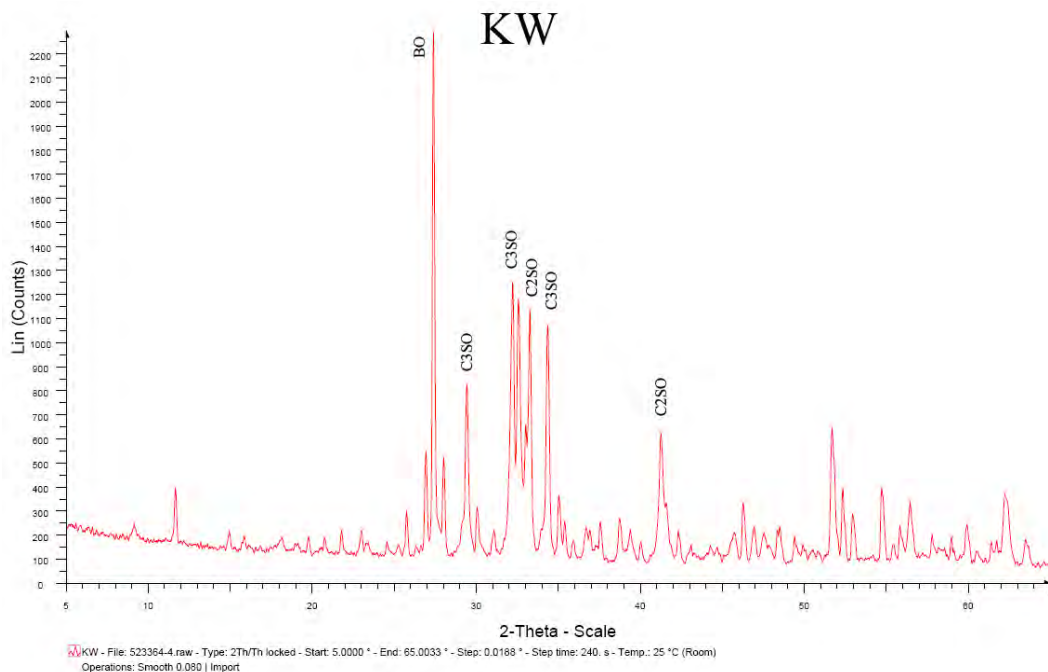
-12



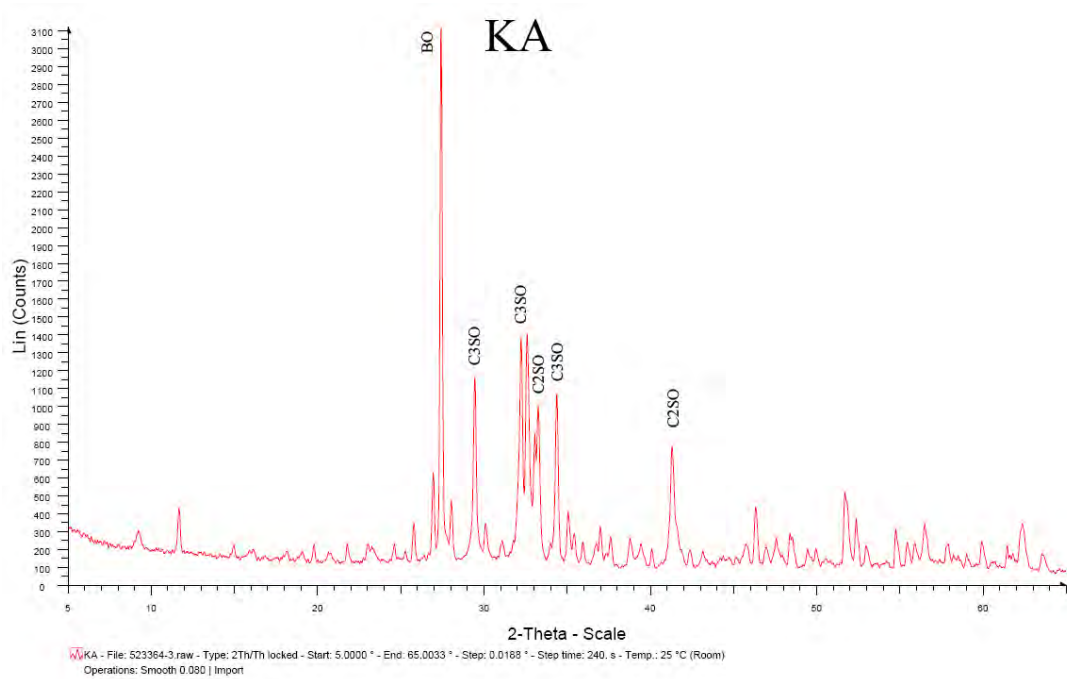
ภาพที่ 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกที่มีบิสมต์ออกไซด์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น (BO; Bismuth oxide, C3SO; Calcium silicate oxide, C2SO; Calcium silicate -orthorhombic)



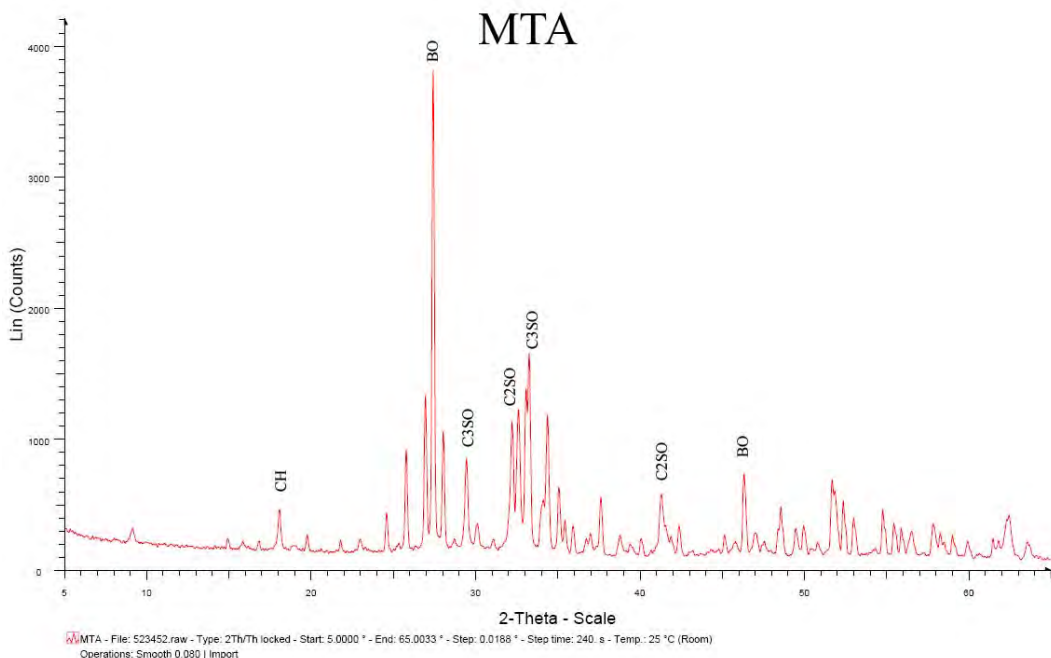
ภาพที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกที่มีบิสมัดออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (BO; Bismuth oxide, C3SO; Calcium silicate oxide, C2SO; Calcium silicate -*orthorhombic*)



ภาพที่ 10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยี่ห้อเลนที่มีบิสมัดออกไซด์ เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น (BO; Bismuth oxide, C3SO; Calcium silicate oxide, C2SO; Calcium silicate -*orthorhombic*)

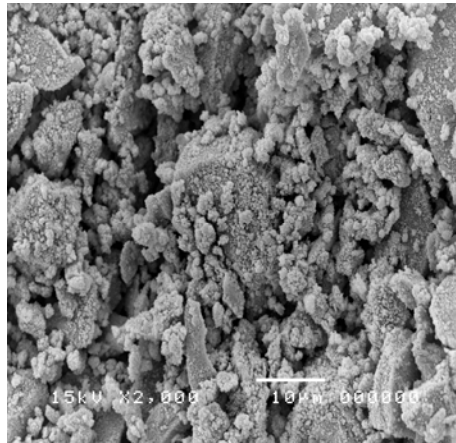


ภาพที่ 11 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตรากิเลนที่มีบิสมัทออกไซด์ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (BO;Bismuth oxide, C3SO; Calcium silicate oxide, C2SO; Calcium silicate -*orthorhombic*)

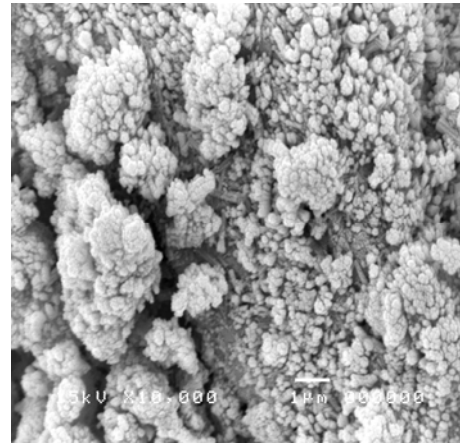


ภาพที่ 12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ เมื่อผสมด้วยส่วนน้ำกลั่น (BO;Bismuth oxide, C3SO; Calcium silicate oxide, C2SO; Calcium silicate – *orthorhombic*, CH;Calcium hydroxide)

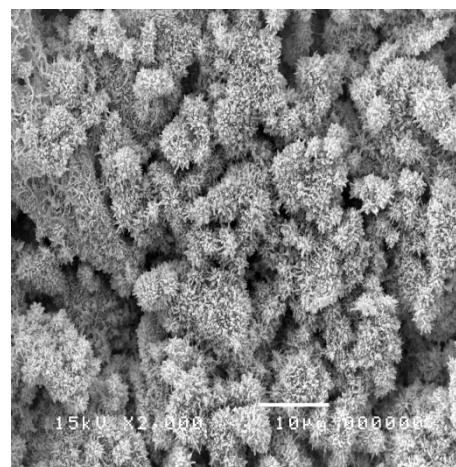
นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของซีเมนต์ที่แข็งตัวเต็มที่แล้วพบว่า ซีเมนต์ทุกชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยพบผลึกปะปนกันหลายชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ็มมีลักษณะผลึกที่ค่อนข้างละเอียดกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกเมื่อผสมด้วยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส จะพบว่ามีผลึกที่มีลักษณะทรงกระบอกยื่นยาวเป็นรัศมีทรงกลม ซึ่งแตกต่างจากซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ ตามที่แสดงในภาพที่ 13



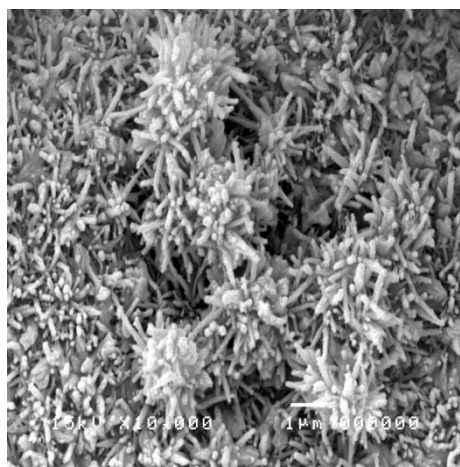
13A



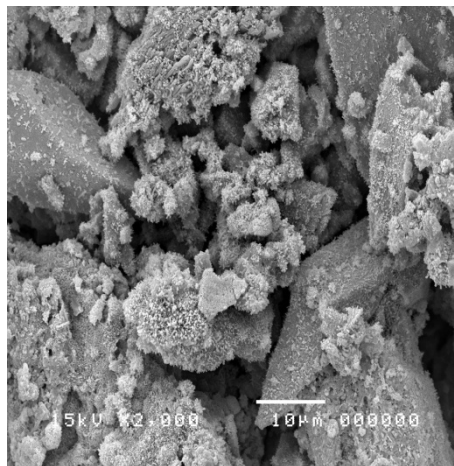
13B



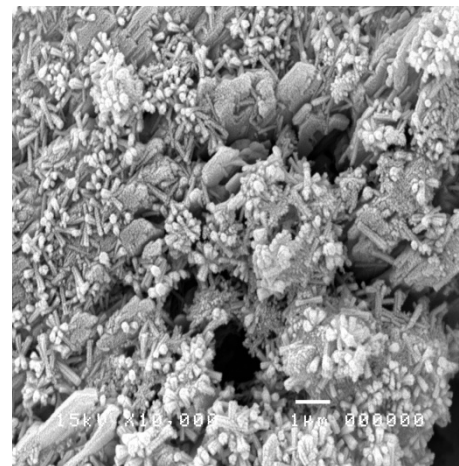
13C



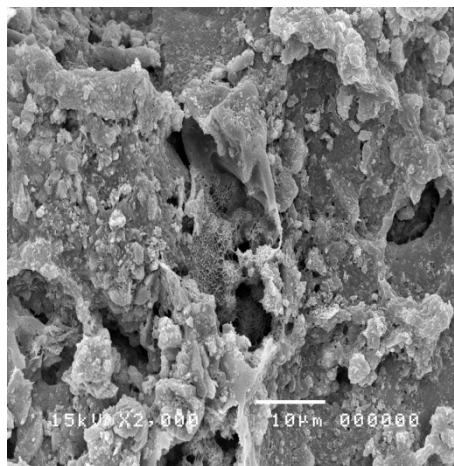
13D



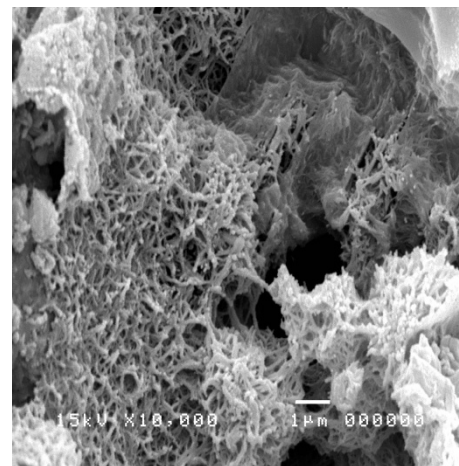
13E



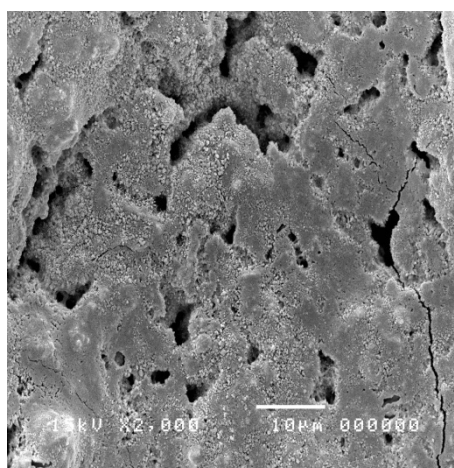
13F



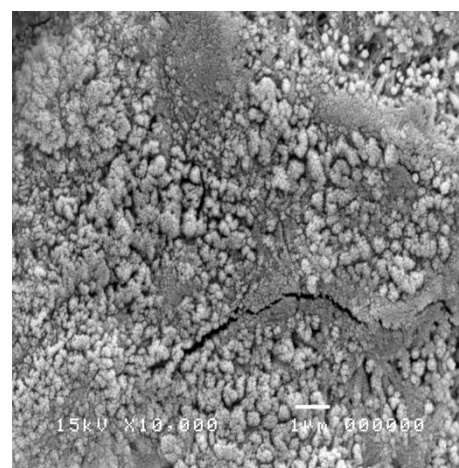
13G



13H



13I



13J

ภาพที่ 13 แสดงภาพสัณฐานวิทยาพื้นผิวของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

13A,B พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกผสมน้ำกลั่น (CW) ที่กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า;

13C,D พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA) ที่

กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า; 13E,F พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากิเลนผสมน้ำกลั่น (KW) ที่กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า; พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากิเลนผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (KA) ที่กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า; ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ (MTA) ที่กำลังขยาย 2000 และ 10000 เท่า

2. การศึกษาความที่บร้งสี

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยตราข้างเผือกและตรากิเลนที่มีบร้งสีออกไซด์เมื่อผสมด้วยน้ำกลั่น มีความที่บร้งสีน้อยกว่า ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ มีความที่บร้งสีที่ไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราข้างเผือกและตรากิเลน พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 2 บริษัท

ตารางที่ 2 แสดงความที่บร้งสีของซีเมนต์แต่ละกลุ่มเทียบกับอลูมิเนียมบริสุทธิ์

กลุ่มทดลอง	ความที่บร้งสีเทียบกับอลูมิเนียม (มิลลิเมตร) Mean ± (SD)
CW	4.876(±0.32) ^(a)
CA	5.17(±0.26) ^(ab)
KW	4.755(±0.38) ^(a)
KA	5.105(±0.32) ^(ab)
MTA	5.655(±0.48) ^(b)

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3. การศึกษาความเป็นกรดต่าง

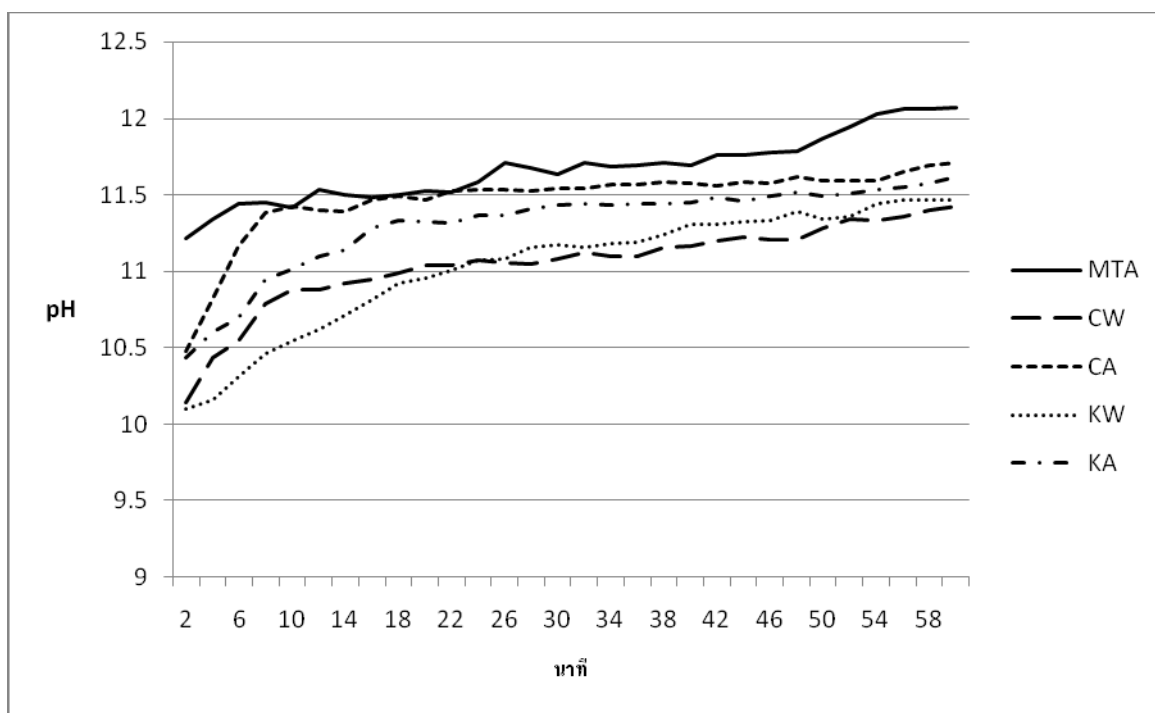
ผลการศึกษาความเป็นกรดต่างของซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่ม พบว่าทันทีที่เริ่มผสมไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความเป็นต่างสูงกว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิล

เซลลูโลสก็จะเป็นค่าที่สูงกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ (นาที่ที่ 2 : MTA > CA, KA > CW, KW)

ในนาที่ที่ 30 ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสมีความเป็นด่างไม่แตกต่างกัน แต่จะมีความเป็นด่างมากกว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ (นาที่ที่ 30 : MTA, CA, KA > CW, KW)

เมื่อซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่ในนาที่ที่ 60 ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความเป็นด่างสูงกว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสก็จะเป็นค่าที่สูงกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ (นาที่ที่ 60 : MTA > CA, KA > CW, KW)

ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่มมีความเป็นด่างสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อซีเมนต์แข็งตัวต่อไป ตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างการศึกษาทุก ๆ 2 นาที่ เป็นเวลา 60 นาที่

4. การศึกษาเวลาแข็งตัว

พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกเมื่อผสมด้วยน้ำกลั่นจะมีเวลาแข็งตัวที่ 72.90 (± 1.70) นาที่ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวตรากิเลนเมื่อผสมด้วยน้ำกลั่นจะมีเวลาแข็งตัวที่ 80.05 (± 3.61) นาที่ และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอมีเวลาแข็งตัว 81.30 (± 1.99) นาที่ ในขณะที่พอร์ตแลนด์

ซีเมนต์สีขาวตราช้างเผือกเมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสจะมีเวลาแข็งตัวที่ 55.85 (± 2.63) นาที และ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวยี่ห้อตรากีเลนเมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสจะมีเวลาแข็งตัวที่ 57.15 (± 1.80) นาที ซึ่งจะพบว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกั้นจะมีระยะเวลาแข็งตัวมากกว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญตามที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์แต่ละชนิด

กลุ่มทดลอง	เวลาการแข็งตัว (นาที)
	Mean \pm (SD)
CW	72.90 (± 1.70) ^(a)
CA	55.85 (± 2.63) ^(b)
KW	80.05 (± 3.61) ^(a)
KA	57.15 (± 1.80) ^(b)
MTA	81.30 (± 1.99) ^(a)

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

5. การศึกษาความทนแรงอัด

ที่ระยะเวลา 1 วัน พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากีเลน ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอจะมีความทนแรงอัดมากกว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากีเลน ที่ผสมด้วยน้ำกั้นอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อถึงวันที่ 21 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากีเลน ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส จะมีความทนแรงอัดมากกว่า พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกและพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากีเลน ที่ผสมด้วยน้ำกั้น และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ อย่างมีนัยสำคัญ ตามที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความทนแรงอัดของซีเมนต์แต่ละชนิด

กลุ่มทดลอง	ความทนแรงอัด (MPa)	
	Mean \pm (SD)	
	1 วัน	21 วัน
CW	40.70(\pm 4.26) ^(a)	77.59(\pm 3.46) ^(a)
CA	49.05(\pm 4.41) ^(b)	90.54(\pm 4.82) ^(b)
KW	41.35(\pm 3.14) ^(a)	80.61(\pm 4.10) ^(a)
KA	52.15(\pm 3.60) ^(b)	91.95(\pm 4.63) ^(b)
MTA	48.27(\pm 3.44) ^(b)	82.36(\pm 3.58) ^(a)

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

6. สภาพละลายได้

ในวันที่ 1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลส มีสภาพละลายได้มากกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิด มีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$)

ในวันที่ 7 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกที่ผสมด้วยน้ำกลั่นมีสภาพละลายได้ที่น้อยที่สุด และน้อยกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างเผือกที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสซึ่งเป็นกลุ่มที่มีสภาพละลายได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

วันที่ 21 ซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่มมีสภาพละลายได้ไม่แตกต่างกัน ตามที่แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสภาพละลายได้ของซีเมนต์แต่ละชนิด

กลุ่มทดลอง	สภาพละลายได้(ร้อยละ)		
	Mean \pm (SD)		
	1 วัน	7 วัน	21 วัน
CW	1.15(\pm 0.29) ^(ab)	0.75(\pm 0.17) ^(c)	0.75(\pm 0.17) ^(e)
CA	1.43(\pm 0.27) ^(b)	0.91(\pm 0.08) ^(d)	0.88(\pm 0.13) ^(e)
KW	1.09(\pm 0.25) ^(ab)	0.77(\pm 0.13) ^(cd)	0.77(\pm 0.13) ^(e)
KA	1.35(\pm 0.09) ^(b)	0.79(\pm 0.11) ^(cd)	0.81(\pm 0.13) ^(e)
MTA	0.91(\pm 0.10) ^(a)	0.85(\pm 0.10) ^(cd)	0.64(\pm 0.14) ^(e)

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

พอร์ตแลนดซีซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสฟีนอลเอ ออกไซด์ เมื่อผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสจะมีระยะเวลาการแข็งตัวที่เร็วขึ้น และมีความทนแรงอัดสูงกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอและซีเมนต์ที่ผสมด้วยน้ำกลั่น มีสภาพละลายได้ที่ 21 วัน และความที่บร้งสีไม่แตกต่างจากไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ มีความเป็นด่างต่ำกว่าไวท์โปรรูทเอ็มทีเอเล็กน้อย ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมของพอร์ตแลนดซีซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ และเมทิลเซลลูโลสมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อนำมาใช้แทนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอได้ในอนาคต

อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อพัฒนาสูตรผสมและศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมใหม่ เพื่อพัฒนาให้พอร์ตแลนดซีซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น สะดวกต่อการใช้งานและสามารถนำมาทดแทนไวท์โปรรูทเอ็มทีเอได้ พอร์ตแลนดซีซีเมนต์ที่เลือกมาใช้ในการศึกษานี้ พิจารณาเลือกพอร์ตแลนดซีซีเมนต์ที่ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.)เลขที่ 133 (กระทรวงอุตสาหกรรม 2541) ซึ่งมีเพียงพอร์ตแลนดซีซีเมนต์จาก 2 บริษัทในประเทศไทยคือ ตราช้างเผือกและตรากิเลน

จากการศึกษาส่วนประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนดซีซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยที่มีบิสฟีนอลเอ ออกไซด์ 2 บริษัทดังกล่าว เปรียบเทียบกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ พบว่าพอร์ตแลนดซีซีเมนต์ทั้ง 2 บริษัทนี้มีองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ คล้ายคลึงกับไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ⁽²²⁾ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าว พบว่าพอร์ตแลนดซีซีเมนต์และไวท์โปรรูทเอ็มทีเอ มีเวลาแข็งตัวที่นาน ซึ่งไม่สะดวกต่อการใช้งานในคลินิก การปรับปรุงคุณภาพและสูตรผสมเพื่อให้ซีเมนต์มีเวลาแข็งตัวที่เร็วขึ้นโดยการใช้แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าซีเมนต์จะมีเวลาการแข็งตัวที่น้อยลง^(23, 24, 53) เมทิลเซลลูโลสถูกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของแคลเซียมฟอสเฟตซีเมนต์ที่ใช้ในงานผ่าตัดกระดูกศีรษะและใบหน้า เพื่อเป็นโครงร่าง (scaffold) การเจริญของเซลล์ ให้ขึ้นรูปได้ดีและไม่ถูกชะล้างโดยง่าย^(54, 55) ซึ่งจากการศึกษาวิจัยนำร่องพบว่าแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 เป็นสูตรที่มีความเหมาะสม โดยส่วนน้ำที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 จะทำให้ซีเมนต์แข็งตัวได้เร็วขึ้น ส่วนน้ำจะมีความหนืดพอที่สามารถผสมได้ง่าย และได้ซีเมนต์ที่มีลักษณะเนียน จึงใช้สูตรดังกล่าวในการศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ในครั้งนี้

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ไวท์โปรรูทเอ็มทีเอพบ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย ในขณะที่พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่ม ไม่พบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาคือความเป็นกรดต่าง พบว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทั้ง 4 กลุ่ม ก็มีความเป็นด่างที่สูง ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พบ มีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับแคลเซียมซิลิเกตออกไซด์ และบิสฟัตออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่พบในซีเมนต์ทุกชนิด จึงไม่สามารถตรวจพบได้ ในขณะที่เอ็มทีเอมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์⁽⁴⁹⁾ จึงเกิดปฏิกิริยาได้ทั่วถึงกว่าและได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และสามารถตรวจพบได้มากกว่า

จากการศึกษานำร่องเกี่ยวกับเวลาแข็งตัวของซีเมนต์ เมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดต่างกันจะได้ระยะเวลาแข็งตัวที่ต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ผิวของซีเมนต์ที่สัมผัสกับบรรยากาศในแต่ละแม่พิมพ์ไม่เท่ากัน ในการศึกษาที่ทดสอบเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ตามมาตรฐานเอดีเอหมายเลข 53 ปี 2008 ซึ่งแนะนำให้ใช้แม่พิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW, KW และ MTA) มีเวลาแข็งตัวที่ 79.2 80.05 และ 81.30 นาทีตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของที่ผ่านมา⁽³⁾ ที่ใช้แม่พิมพ์และมาตรฐานในการวัดเวลาแข็งตัวที่ต่างกัน ระยะเวลาการแข็งตัวของซีเมนต์ที่ผสมด้วยสารเร่งการแข็งตัวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งมีความคุณสมบัติดูดน้ำ (hygroscopic) ทำให้น้ำสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของซีเมนต์ได้ง่ายขึ้น และปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้น⁽²⁴⁾ เมททิลเซลลูโลสซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน จะทำให้น้ำที่ใช้ในอัตราส่วนผสมของส่วนน้ำน้อยลงปริมาณน้ำที่น้อยลงจะทำให้ซีเมนต์แข็งตัวได้เร็วขึ้นอีกด้วย⁽⁴⁸⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีเนื้อเนียนและสามารถปั้นแต่งได้ง่ายกว่า

การทดสอบสภาพละลายได้ของซีเมนต์ในวันแรก พบว่าซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลสจะมีสภาพละลายได้ที่มากกว่าซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น อาจเนื่องมาจากเมททิลเซลลูโลสเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดสภาพละลายได้ที่มากในช่วงแรก แต่เมื่อซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่จนถึงวันที่ 21 จะพบว่าซีเมนต์ทุกกลุ่มมีสภาพละลายได้ที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามซีเมนต์ทุกกลุ่มทั้งในช่วงเวลา 1 วันและ 21 วัน มีสภาพละลายได้ที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานไอเอสโอ 6876 ปี 2001 ซึ่งกำหนดให้สภาพละลายได้ที่ของ dental root canal sealing material ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 3

การศึกษานี้ผสมบิสฟัตออกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยสองบริษัทเนื่องจากการศึกษาที่แนะนำว่า ร้อยละ 20 ของบิสฟัตออกไซด์จะทำให้ซีเมนต์มีความทึบเพียงพอต่อการใช้งานในคลองรากฟัน⁽²⁶⁾ ซีเมนต์ที่ผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์

และเมทิลเซลลูโลสจะพบว่ามีความที่บ่งชี้ที่ไม่แตกต่างจากไวท์โปรทูเอ็มทีเอ ส่วนซีเมนต์กลุ่มที่ผสมด้วยน้ำกลั่น (CW และ KW) จะมีความที่บ่งชี้ที่น้อยกว่า การศึกษานี้พบว่าความที่บ่งชี้ของซีเมนต์แต่ละชนิดเทียบเท่ากับอลูมิเนียมความหนา 4.75 ถึง 5.65 มิลลิเมตรซึ่งน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมาเล็กน้อย (6.04 ถึง 6.74 มิลลิเมตร)^(19, 41) อาจเนื่องมาจากความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมที่วัดเทียบ และชั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นแต่ละชั้นในแต่ละการศึกษาแตกต่างกัน การศึกษานี้เลือกใช้ อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 98 และชั้นความหนาเพิ่มขึ้นชั้นละ 0.5 มิลลิเมตรซึ่งมีความละเอียดมากกว่าการศึกษาที่ผ่านมา⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้การศึกษานี้ยังได้พัฒนาใช้การถ่ายภาพรังสีดิจิตอลและเทียบความที่บ่งชี้จากค่าเกรย์สเกลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะลดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการล้างฟิล์มและการอ่านค่าความที่บ่งชี้ได้ดีกว่า

ส่วนน้ำที่มีความเข้มข้น แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 5 และเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 เมื่อผสมเข้ากันอย่างดีแล้วจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาอันนานจะมีการแยกชั้นของของเหลว และยังไม่มียข้อมูลศึกษาว่า เมื่อผสมแคลเซียมคลอไรด์เข้ากับเมทิลเซลลูโลสสารละลายที่ได้จะมีอายุการใช้งานนานเพียงใด ในการศึกษาครั้งนี้จึงผสมแคลเซียมคลอไรด์และเมทิลเซลลูโลสเพื่อเก็บไว้ใช้ในการทดลองไม่เกิน 3 วัน โดยก่อนใช้สารละลายแต่ละครั้งจะใช้เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex) นาน 8 วินาที เพื่อผสมของเหลวที่แยกชั้นให้เข้ากันใหม่อย่างทั่วถึง ก่อนนำมาใช้ผสมซีเมนต์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์สีขาวที่ผลิตในประเทศไทยที่ได้ปรับปรุงสูตร ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพทั้งในหลอดทดลองและในร่างกายสิ่งมีชีวิต ก่อนนำไปใช้จริงกับมนุษย์ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องศึกษาวิธีการทำให้ปลอดเชื้อก่อนนำไปใช้งานในคลินิกต่อไป

รายการอ้างอิง

- (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):258-71.
- (2) Friedman S. Retrograde approaches in endodontic therapy. *Endod Dent Traumatol.* (Jun 1991):97-107.
- (3) Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* (Jul 1995):349-53.
- (4) Pelliccioni GA, Ciapetti G, Cenni E, Granchi D, Nanni M, Pagani S, et al. Evaluation of osteoblast-like cell response to Proroot MTA (mineral trioxide aggregate) cement. *J Mater Sci Mater Med.* (Feb 2004):167-73.
- (5) 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.* (Apr 2003):483-9.
- (6) Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod.* (Oct 1995):489-92.
- (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.* (Dec 1997):432-9.
- (8) 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):3-8.
- (9) Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabe PF, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with

- mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. **J Endod.** (Mar 1999):161-6.
- (10) Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. **J Endod.** (Aug 1995):403-6.
- (11) Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. **J Endod.** (Mar 1995):109-12.
- (12) Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. **J Endod.** (Dec 1995):603-8.
- (13) 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.** (Nov 1995):569-71.
- (14) 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.** (Apr 1997):225-8.
- (15) 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.** (Nov 2005):834-42.
- (16) Funteas UR, Wallace JA, Fochtman EW. A comparative analysis of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement. **Aust Endod J.** (Apr 2003):43-4.
- (17) Islam I, Chng HK, Yap AU. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. **Int Endod J.** (Mar 2006):220-5.
- (18) 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.** (Feb 2009):243-50.

- (19) 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.* (Mar 2009):e96-102.
- (20) Oliveira MG, Xavier CB, Demarco FF, Pinheiro AL, Costa AT, Pozza DH. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Braz Dent J.* 2007):3-7.
- (21) 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.* (Dec 2006):809-15.
- (22) 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):145-58.
- (23) Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod.* (Oct 2007):1231-4.
- (24) Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Felipe 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.* (Apr 2009):550-4.
- (25) Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Garcia RB, de Moraes IG, Bernardineli N. Sealing ability of MTA and radiopaque Portland cement with or without calcium chloride for root-end filling. *J Endod.* (Sep 2006):897-900.
- (26) Kim E, Song JS, Jung IY, Lee SJ, Kim S. Prospective clinical study evaluating endodontic microsurgery outcomes for cases with lesions of endodontic

origin compared with cases with lesions of combined periodontal-endodontic origin. **J Endod.** (May 2008):546-51.

- (27) Johnson BR. Considerations in the selection of a root-end filling material. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.** (Apr 1999):398-404.
- (28) Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. **J Endod.** (Dec 1993):591-5.
- (29) Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. **Dent Clin North Am.** (Apr 1992):357-78.
- (30) Aqrabawi J. Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. **Br Dent J.** (Mar 2000):266-8.
- (31) Pereira CL, Cenci MS, Demarco FF. Sealing ability of MTA, Super EBA, Vitremer and amalgam as root-end filling materials. **Braz Oral Res.** (Oct-Dec 2004):317-21.
- (32) Zhu Q, Safavi KE, Spangberg LS. Cytotoxic evaluation of root-end filling materials in cultures of human osteoblast-like cells and periodontal cells. **J Endod.** (Jun 1999):410-2.
- (33) Chong BS, Owadally ID, Pitt Ford TR, Wilson RF. Cytotoxicity of potential retrograde root-filling materials. **Endod Dent Traumatol.** (Jun 1994):129-33.
- (34) Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. **J Endod.** (Nov 1993):541-4.
- (35) 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.** (Jan 2005):44-6.

- (36) 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.* (Jan 2003):44-8.
- (37) Faraco IM, Jr., Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol.* (Aug 2001):163-6.
- (38) Ribeiro DA, Sugui MM, Matsumoto MA, Duarte MA, Marques ME, Salvadori DM. Genotoxicity and cytotoxicity of mineral trioxide aggregate and regular and white Portland cements on Chinese hamster ovary (CHO) cells in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* (Feb 2006):258-61.
- (39) Sipert CR, Hussne RP, Nishiyama CK, Torres SA. In vitro antimicrobial activity of Fill Canal, Sealapex, Mineral Trioxide Aggregate, Portland cement and EndoRez. *Int Endod J.* (Aug 2005):539-43.
- (40) 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):3-9.
- (41) Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod.* (Mar 2006):193-7.
- (42) Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod.* (Dec 2000):764-5.
- (43) Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod.* (Feb 2005):101-3.
- (44) Vosoughhosseini S, Lotfi M, Shahi S, Baloo H, Mesgariabbasi M, Saghiri MA, et al. Influence of white versus gray mineral trioxide aggregate on inflammatory cells. *J Endod.* (Jun 2008):715-7.

- (45) Shahi S, Rahimi S, Yavari HR, Shakouie S, Nezafati S, Abdolrahimi M. Sealing ability of white and gray mineral trioxide aggregate mixed with distilled water and 0.12% chlorhexidine gluconate when used as root-end filling materials. **J Endod.** (Dec 2007):1429-32.
- (46) 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.** (Mar 2003):345-7.
- (47) Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. **J Endod.** (Feb 2005):97-100.
- (48) Neville AM. *Properties of Concrete.* 3rd ed.: Longman Scientific and Technical; 1981.
- (49) Komabayashi T, Spangberg LS. Particle size and shape analysis of MTA finer fractions using Portland cement. **J Endod.** (Jun 2008):709-11.
- (50) 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.** (Jan 2008):94-8.
- (51) Jearanaipaisal T, Ratisuntorn C. Cytotoxicity of two Thai white Portland cements mixed with bismuth oxide on primary human osteoblasts. **CU Dent J.** (2009):179-89.
- (52) Abdullah D, Ford TR, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. **Biomaterials.** (Oct 2002):4001-10.
- (53) Antunes Bortoluzzi E, Juarez Broon N, Antonio Hungaro Duarte M, de Oliveira Demarchi AC, Monteiro Bramante C. The use of a setting accelerator and

its effect on pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and white Portland cement. **J Endod.** (Dec 2006):1194-7.

- (54) Xu HH, Takagi S, Quinn JB, Chow LC. Fast-setting calcium phosphate scaffolds with tailored macropore formation rates for bone regeneration. **J Biomed Mater Res A.** (Mar 2004):725-34.
- (55) Cherng A, Takagi S, Chow LC. Effects of hydroxypropyl methylcellulose and other gelling agents on the handling properties of calcium phosphate cement. **J Biomed Mater Res.** (Jun 1997):273-7.

ภาคผนวก

รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตอนที่ 2 การศึกษาความที่บ่งชี้

2.1 ข้อมูลดิบความที่บ่งชี้ของตัวอย่างการศึกษา

ชั้นที่	CW	CA	KW	KA	MTA
1	5.11	5.03	5.25	4.64	5.96
2	5.29	5.00	5.07	4.84	5.06
3	5.32	4.85	5.25	5.50	6.40
4	4.78	5.16	4.82	5.07	5.77
5	4.64	5.34	4.40	5.06	4.92
6	5.09	4.94	4.85	5.11	5.53
7	4.75	5.11	4.70	5.74	5.18
8	4.45	5.54	4.21	4.89	5.05
9	4.43	5.09	4.79	5.03	5.08
10	4.92	5.67	4.23	5.21	5.28

2.2 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของความที่บ่งชี้ของตัวอย่างการศึกษา

Descriptives

radio

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
CW	10	4.8760	.32082	.10145	4.6465	5.1055	4.43	5.32
CA	10	5.1700	.26475	.08372	4.9806	5.3594	4.85	5.67
KW	10	4.7550	.38164	.12069	4.4820	5.0280	4.21	5.25
KA	10	5.1050	.31914	.10092	4.8767	5.3333	4.64	5.74
MTA	10	5.4215	.48229	.15251	5.0765	5.7665	4.92	6.40
Total	50	5.0655	.41878	.05922	4.9465	5.1845	4.21	6.40

2.3 แสดงการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลความถี่รังสีของตัวอย่างศึกษา

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

type		radio
CW	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	4.8760
		Std. Deviation
		.32082
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.148
		Positive
		.124
		Negative
		-.148
	Kolmogorov-Smirnov Z	.467
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.981
CA	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	5.1700
		Std. Deviation
		.26475
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.215
		Positive
		.215
		Negative
		-.119
	Kolmogorov-Smirnov Z	.680
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.744

a Test distribution is Normal. b Calculated from data.

Continue...

type		radio
KW	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	4.7550
		Std. Deviation
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.143
		Positive
		Negative
	Kolmogorov-Smirnov Z	.451
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.987
KA	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	5.1050
		Std. Deviation
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.200
		Positive
		Negative
	Kolmogorov-Smirnov Z	.632
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.819
MTA	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	5.4215
		Std. Deviation
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.215
		Positive
		Negative
	Kolmogorov-Smirnov Z	.681
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.742

2.4 แสดงการวิเคราะห์ความที่บ่งชี้ของตัวอย่างศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Test of Homogeneity of Variances

radio

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.370	4	45	.259

ANOVA

radio

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.715	4	.679	5.197	.002
Within Groups	5.878	45	.131		
Total	8.594	49			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: radio

Tukey HSD

(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower bound	Upper bound
CW	CA	-.29400	.16163	.376	-.7533	.1653
	KW	.12100	.16163	.944	-.3383	.5803
	KA	-.22900	.16163	.620	-.6883	.2303
	MTA	-.54550(*)	.16163	.013	-1.0048	-.0862
CA	CW	.29400	.16163	.376	-.1653	.7533
	KW	.41500	.16163	.094	-.0443	.8743
	KA	.06500	.16163	.994	-.3943	.5243
	MTA	-.25150	.16163	.533	-.7108	.2078
KW	CW	-.12100	.16163	.944	-.5803	.3383
	CA	-.41500	.16163	.094	-.8743	.0443
	KA	-.35000	.16163	.212	-.8093	.1093
	MTA	-.66650(*)	.16163	.001	-1.1258	-.2072
KA	CW	.22900	.16163	.620	-.2303	.6883
	CA	-.06500	.16163	.994	-.5243	.3943
	KW	.35000	.16163	.212	-.1093	.8093
	MTA	-.31650	.16163	.303	-.7758	.1428
MTA	CW	.54550(*)	.16163	.013	.0862	1.0048
	CA	.25150	.16163	.533	-.2078	.7108
	KW	.66650(*)	.16163	.001	.2072	1.1258
	KA	.31650	.16163	.303	-.1428	.7758

* The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

radio

Tukey HSD

type	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
KW	10	4.7550	
CW	10	4.8760	
KA	10	5.1050	5.1050
CA	10	5.1700	5.1700
MTA	10		5.4215
Sig.		.094	.303

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ตอนที่ 3 การศึกษาความเป็นกรดต่าง

3.1 ข้อมูลดิบความเป็นกรดต่างของตัวอย่างการศึกษา

3.1.1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างผสมด้วยน้ำกลั่น (CW)

เวลา (นาท)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
2	10.34	10.56	10.16	9.95	10.05	9.94	9.86	10.02	10.32	10.19
4	10.5	10.69	10.61	10.3	10.46	10.44	10.76	10.1	10.28	10.23
6	10.19	10.88	10.62	10.86	10.88	10.54	10.61	10.25	10.24	10.35
8	10.5	11.13	10.99	11.08	10.97	10.75	10.87	10.68	10.34	10.59
10	10.91	11.15	10.98	10.94	10.91	10.76	10.89	10.98	10.42	
12	10.84	11.23		10.98	11.05	10.65	10.78	11.03	10.41	10.98
14	10.91	10.81	10.88	11.02		11.12	10.98	11.01	10.55	11.02
16	10.81	11.02	10.95	10.96	10.96	10.84	11.01		10.79	11.17
18	10.88	10.94	11.04	11.15	10.92	10.99		10.85	10.94	11.22
20		11.06	11.11		11.11	10.89	10.99	10.91	11.03	11.19
22	10.97		11.06	11.25	11.17	11.02	10.76	10.78	11.13	11.21
24	10.88	10.75	11.08	11.16	11.08		11.13	11.11	11.21	11.23
26	10.66	10.94		11.14	11.04	11.12	11.14	11.18	11.19	11.14
28	10.87	11.02	10.86	10.97	11.15	10.99	11.03	11.25	11.22	11.17
30	10.94	11.03	10.85	11.07	11.22	11.14	11.08	11.03	11.19	11.26
32	10.84	10.94	11.06		11.26	11.21	11.12	11.22	11.17	11.33
34	10.76		10.99	10.99	11.01	11.19	11.23	11.15	11.23	11.31
36	10.78	10.95	11.03	11.06	11.2	11.07	11.19	11.09	11.35	11.27
38	11.02	11.11	11.21	11.09	11.19	11.17	11.22	11.18	11.24	
40	11.14	11.09	11.23	11.17	11.14	11.24	10.99	11.01	11.35	11.34
42		11.14	11.23	11.09	11.25	11.21	11.04	11.16	11.29	11.36
44	11.03	11.17	11.31	11.11	11.28	11.33	11.16	11.27	11.27	11.37
46	11.19		11.03	11.08	11.19	11.24	11.09	11.32	11.41	11.31
48	11.25	11.32		10.91	11.11	11.09	11.16	11.34	11.39	11.34
50	11.31	11.23	11.36	10.97	11.22	11.27	11.14	11.44	11.47	11.46

เวลา (นาที)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
52	11.27	11.34	11.44	11.17	11.28	11.19	11.23	11.45	11.51	11.52
54	11.19	11.04	11.56	11.25	11.24	11.26	11.2	11.52	11.57	11.56
56	11.25	11.24	11.55	11.14	11.19	11.33	11.14	11.61	11.55	11.6
58	11.31	11.41	11.61	11.17	11.2	11.29	11.27	11.58	11.6	11.59
60	11.39	11.37	11.59	11.21	11.27	11.32	11.29	11.57	11.64	11.63

3.1.2 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA)

เวลา (นาที)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
2	10.28	10.31	10.74	10.3	10.46	10.41	10.61	10.7	10.36	10.59
4	10.86	10.75	10.72	10.82	10.74	11.06	10.94	10.75	10.38	11.15
6	11.46	11.56	10.75	10.8		11.25	11.15	11.39	10.75	11.37
8	10.98	11.68	11.64	10.89	11.79	11.41	11.39	11.51	11.05	11.48
10	11.26	11.48	11.64	10.99	11.45	11.51	11.56	11.59	11.25	11.54
12	11.02	11.46	11.51	10.97	11.43	11.58	11.62	11.48	11.31	11.59
14	11.39	11.25	11.59	11.13	11.15		11.61	11.41	11.3	11.67
16	11.45	11.59	11.38	11.16	11.49	11.64	11.74	11.53	11.21	
18	11.25	11.49	11.48		11.34	11.7	11.56	11.64	11.19	11.74
20	11.15	11.42	11.51	11.31	11.46	11.66	11.7	11.6	11.28	11.57
22	11.22	11.58	11.58	11.27	11.49	11.65	11.66	11.56	11.6	11.68
24	11.44	11.26	11.71	11.09	11.61	11.75	11.68	11.58		11.69
26	11.53		11.67	11.18	11.52	11.49	11.68	11.57	11.54	11.64
28	11.32	11.49		11.31	11.87		11.64	11.62	11.48	11.48
30	11.44	11.49	11.49	11.36	11.72	11.48		11.66	11.64	11.57
32	11.49	11.41	11.56	11.34		11.58	11.51	11.68	11.66	11.65
34	11.39	11.23	11.53		11.64	11.61	11.66	11.64	11.67	11.72
36	11.42		11.68	11.51	11.62	11.57	11.59	11.59	11.59	
38	11.38	11.29	11.62	11.44	11.69	11.77		11.65	11.75	11.69

เวลา (นาทีก)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
40		11.27	11.54	11.3	11.53	11.68	11.59	11.74	11.71	11.79
42	11.47	11.57	11.64	11.36	11.59		11.6	11.55	11.69	11.56
44	11.16	11.7	11.6	11.29		11.75	11.37	12.04	11.72	11.6
46	11.56	11.61	11.51	11.39	11.71	11.42	11.64	11.74		11.61
48	11.44		11.56	11.41	11.61	11.7	11.69	11.82	11.69	11.66
50	11.36	11.36	11.72	11.49	11.69	11.6	11.72	11.8	11.64	11.57
52	11.53	11.45	11.63	11.36		11.49	11.66	11.74	11.75	11.71
54	11.64	11.34	11.58	11.29	11.68		11.75	11.88	11.59	
56	11.59	11.61	11.44	11.64	11.7	11.65		11.71	11.64	11.86
58	11.59	11.53	11.81	11.56	11.61	11.59	11.74	11.87	11.61	11.99
60	11.53	11.72	11.87	11.51	11.72	11.75	11.88	11.85	11.66	11.61

3.1.3 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราไก่เลนผสมด้วยน้ำกลั่น (KW)

เวลา (นาทีก)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
2	9.85	10.22	9.99	10.27	10.32	10.03	9.89	10.29	9.81	10.31
4	10.34	10.34	9.97	10.32	10.23	10.28	9.91	10.06	9.84	10.29
6	10.35	10.47	10.28	10.44	10.65	9.98	9.98	10.27	10.28	10.37
8	10.32	10.89	10.17	10.47	10.81	10.36	10.21	10.41	10.34	10.57
10	10.34	10.87	10.33	10.59	10.65	10.71	10.35	10.56	10.49	10.54
12	10.28	10.79	10.53	10.67	10.66	10.89	10.37	10.77	10.55	10.69
14	10.51	10.55	10.73	10.76	10.59	10.77	10.51	10.89	10.89	10.87
16	10.49		10.88	10.59	11.01	10.91	10.47	10.91	11.04	10.96
18	10.55	10.88	10.97	10.79	10.96	10.78	10.87	11.06	11.19	11.13
20	10.67	10.97	11.07	10.95	10.89	10.88	10.68	11.17	11.04	11.17
22	10.89	11.09	11.06	10.97	11.09	10.87	10.71	11.09	11.03	11.24
24	11	11.07	10.97	11.19	11.15	10.99	10.87	11.11	11.13	11.2
26	11.09	11.16	11.09	11.14	11.07	11.03	10.99	11.07	11.09	11.08

เวลา (นาที)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
14	10.98	10.82	11.21		11.39	10.94	11.09	11.12	11.43	11.27
16	11	10.99	11.39	11.56	11.46	11.16		11.15	11.36	11.45
18	11.01	11.3	11.28	11.5	11.54	11.37	11.21	11.22	11.46	11.39
20	11.2	11.16		11.54	11.33	11.29	11.33	11.31	11.41	11.33
22		11.06	11.34	11.53	11.27	11.29	11.17	11.4	11.38	11.36
24	11.39	11.12	11.29		11.58	11.37	11.28	11.32	11.42	11.46
26	11.33	11.23	11.31	11.41	11.37	11.42	11.35	11.28	11.38	11.51
28	11.42		11.47	11.54	11.36	11.46	11.28	11.29	11.3	11.49
30	11.39	11.31	11.53	11.51	11.39	11.49	11.32	11.34	11.47	11.52
32	11.32	11.39	11.37			11.52	11.29	11.43	11.56	11.61
34	11.31	11.4	11.56	11.49	11.28	11.49	11.39		11.49	11.49
36	11.52	11.32		11.37	11.41	11.58	11.34	11.32	11.51	11.54
38	11.42	11.32	11.46		11.46	11.46	11.42	11.43	11.53	11.48
40	11.38		11.32	11.54	11.29	11.49	11.47	11.49	11.48	11.57
42	11.38	11.56	11.44	11.72	11.39	11.39	11.36	11.38	11.56	11.6
44		11.34	11.58	11.56	11.47	11.38	11.41	11.29	11.61	11.48
46	11.32	11.73	11.69	11.48	11.28	11.51	11.35	11.41	11.57	11.51
48	11.42	11.68		11.58	11.47	11.37	11.33	11.5	11.68	11.56
50	11.45	11.49	11.45	11.54	11.47	11.49	11.28	11.48	11.64	11.63
52	11.48	11.32	11.35	11.48	11.56	11.59	11.46	11.49	11.7	11.59
54		11.43	11.59	11.45	11.52	11.4	11.39	11.69	11.68	11.61
56	11.54	11.54	11.44	11.66	11.54	11.5	11.44	11.61	11.59	11.59
58	11.57	11.48	11.59	11.67	11.49	11.56	11.49	11.58	11.62	11.67
60	11.56	11.52	11.54	11.44	11.59	11.65	11.76	11.66	11.65	11.77

3.1.5 ไลท์โปรจุกเอ็มทีเอ (MTA)

เวลา (นาที)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
2	10.99	10.87	11.22	11.19	11.29	11.3	11.29	11.45	11.22	11.34
4	11.22	10.98	11.2	11.27	11.34	11.47	11.45	11.52	11.46	11.51
6	11.24	11.17	11.18	11.31	11.29	11.7	11.65	11.38	11.68	11.79
8	11.16	11.14	11.34	11.29	11.54	11.69	11.43	11.45	11.72	11.77
10	11.34	11.29	11.42		11.77	10.91	11.02	11.55	11.81	11.67
12	11.36	11.33	11.44	11.35	11.57	11.69	11.56	11.46	11.93	11.65
14	11.14		11.52	11.48	11.54	11.1	11.36	11.47	11.99	11.91
16	11.35	11.19	11.51	11.52	11.59	11.17	11.4	11.53	11.73	11.84
18	11.24	11.21	11.57	11.71	11.56	10.93	11.06	11.72	12.05	11.98
20	11.29	11.34	11.59	11.67	11.63	10.75	11.35	11.59	11.98	12.07
22	11.38	11.4	11.47	11.56		11.22	11.18	11.63	11.71	12.14
24	11.44	11.47	11.67	11.54	11.89	11.29	11.19	11.55	11.81	11.97
26		11.5	11.63	11.77	11.76	11.63	11.36	11.73	11.91	12.13
28	11.25	11.39	11.79	11.78	11.78	11.58	11.65	11.43	12.11	12.01
30	11.44	11.45		11.69	11.91	11.42	11.14	11.91	11.64	12.14
32	11.64	11.5	11.67	11.71	11.76	11.45	11.66	11.81	11.87	12.03
34	11.74	11.57	11.56	11.74	11.56	11.39	11.42	11.97	11.75	12.17
36	11.56	11.6	11.68	11.82	11.77	11.34	11.27	12.05	11.64	12.26
38	11.59		11.77	11.78	11.67	11.43	11.35	11.78	11.91	12.13
40	11.82	11.47	11.68	11.76		11.4	11.29	11.56	12.08	12.22
42	11.64	11.59	11.75	11.79	11.87	11.62	11.42	11.71	12.12	12.09
44		11.67	11.89	11.65	11.82	11.45	11.43	11.65	11.99	12.3
46	11.55	11.7	11.86	11.84	11.85	11.36	11.2	11.89	12.15	12.37
48	11.68	11.62	11.98		11.76	11.39	11.08	12.04	12.24	12.3
50	11.7	11.67	12.11	12.05	11.97	11.42	11.75	11.63	12.05	12.38
52	11.86	11.72	12.04	12.09	12.05	11.55	11.86	11.86	12.17	12.26
54	11.65	12.01	12.16	12.39	12.08	11.4	11.93	12.07	12.21	12.41

เวลา (นาที)	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	ชั้นที่ 10
56	11.84	11.98	12.01	12.37	12.58	11.59	11.82	12.15	12.09	12.2
58	11.78	12.03	12.21	12.24	12.09	11.78	11.67	12.03	12.32	12.49
60	12.04	11.92	12.32	12.3	12.11	11.68	11.78	12.07	12.28	12.23

ตอนที่ 4 การทดสอบเวลาแข่งตัว

4.1 ข้อมูลดิบเวลาแข่งตัวของตัวอย่างการศึกษา (หน่วย : นาที)

ชั้นที่	CW	CA	KW	KA	MTA
1	75.5	54.0	78.5	55.0	81.5
2	81.0	59.0	73.5	58.5	83.0
3	79.5	51.5	75.0	58.0	80.5
4	80.5	55.0	82.0	54.5	85.5
5	77.0	52.5	84.0	57.0	78.5
6	79.5	57.5	84.5	60.5	81.0
7	80.0	56.5	82.5	55.5	79.0
8	80.5	58.0	80.0	57.5	82.0
9	79.5	59.0	81.0	58.0	80.5
10	79.0	55.5	79.5	57.0	81.5

4.2 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาเวลาแข่งตัวของตัวอย่างศึกษา

Descriptives

set

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
CW	10	79.1500	1.70049	.53774	77.9335	80.3665	75.50	81.00
CA	10	55.8500	2.62520	.83016	53.9720	57.7280	51.50	59.00
KW	10	80.0500	3.60902	1.14127	77.4683	82.6317	73.50	84.50
KA	10	57.1500	1.79583	.56789	55.8653	58.4347	54.50	60.50
MTA	10	81.3000	1.98886	.62893	79.8773	82.7227	78.50	85.50
Total	50	70.7000	11.97191	1.69308	67.2976	74.1024	51.50	85.50

4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลเวลาการแข่งขันตัวของตัวอย่าง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

type		set
CW	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	79.1500
		Std. Deviation
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.265
		Positive
		Negative
	Kolmogorov-Smirnov Z	.838
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.484
CA	N	10
	Normal	Mean
	Parameters(a,b)	55.8500
		Std. Deviation
	Most Extreme	Absolute
	Differences	.135
		Positive
		Negative
Kolmogorov-Smirnov Z	.427	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.993	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Continue...

type		set
------	--	-----

KW	N		10
	Normal	Mean	80.0500
	Parameters(a,b)		
		Std. Deviation	3.60902
	Most Extreme	Absolute	.139
	Differences		
		Positive	.119
		Negative	-.139
		Kolmogorov-Smirnov Z	.441
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.990
KA	N		10
	Normal	Mean	57.1500
	Parameters(a,b)		
		Std. Deviation	1.79583
	Most Extreme	Absolute	.167
	Differences		
		Positive	.126
		Negative	-.167
		Kolmogorov-Smirnov Z	.527
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.944
MTA	N		10
	Normal	Mean	81.3000
	Parameters(a,b)		
		Std. Deviation	1.98886
	Most Extreme	Absolute	.162
	Differences		
		Positive	.162
		Negative	-.144
		Kolmogorov-Smirnov Z	.514
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.955

4.4 แสดงการวิเคราะห์ความทนแรงอัดของตัวอย่างที่ศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Test of Homogeneity of Variances

set

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.030	4	45	.106

ANOVA

set

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6753.100	4	1688.275	281.483	.000
Within Groups	269.900	45	5.998		
Total	7023.000	49			

Multiple Comparisons

Tukey HSD

(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CW	CA	23.30000(*)	1.09524	.000	20.1879	26.4121
	KW	-.90000	1.09524	.923	-4.0121	2.2121
	KA	22.00000(*)	1.09524	.000	18.8879	25.1121
	MTA	-2.15000	1.09524	.300	-5.2621	.9621
CA	CW	-23.30000(*)	1.09524	.000	-26.4121	-20.1879
	KW	-24.20000(*)	1.09524	.000	-27.3121	-21.0879
	KA	-1.30000	1.09524	.759	-4.4121	1.8121
	MTA	-25.45000(*)	1.09524	.000	-28.5621	-22.3379
KW	CW	.90000	1.09524	.923	-2.2121	4.0121
	CA	24.20000(*)	1.09524	.000	21.0879	27.3121
	KA	22.90000(*)	1.09524	.000	19.7879	26.0121
	MTA	-1.25000	1.09524	.784	-4.3621	1.8621
KA	CW	-22.00000(*)	1.09524	.000	-25.1121	-18.8879
	CA	1.30000	1.09524	.759	-1.8121	4.4121
	KW	-22.90000(*)	1.09524	.000	-26.0121	-19.7879
	MTA	-24.15000(*)	1.09524	.000	-27.2621	-21.0379
MTA	CW	2.15000	1.09524	.300	-.9621	5.2621
	CA	25.45000(*)	1.09524	.000	22.3379	28.5621
	KW	1.25000	1.09524	.784	-1.8621	4.3621
	KA	24.15000(*)	1.09524	.000	21.0379	27.2621

* The mean difference is significant at the .05 level.

set

Tukey HSD

type	N	Subset for alpha =	
		1	2
CA	10	55.8500	
KA	10	57.1500	
CW	10		79.1500
KW	10		80.0500
MTA	10		81.3000
Sig.		.759	.300

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ตอนที่ 5 การรศึกษาความทนแรงอัด

5.1 ข้อมูลดิบความทนแรงอัดของตัวอย่างการศึกษา

ที่เวลา 1 วัน (หน่วย : MPa)

ชั้นที่	CW	CA	KW	KA	MTA
1	39.52	42.25	38.51	48.74	45.58
2	46.15	52.06	41.44	49.52	51.58
3	38.32	48.66	42.25	50.55	48.27
4	43.94	54.21	36.52	52.54	49.97
5	47.20	48.17	38.99	56.41	51.77
6	39.12	49.88	42.14	50.14	45.56
7	43.70	54.32	43.11	51.97	51.17
8	34.52	51.14	41.84	60.41	47.17
9	37.97	41.39	40.57	51.14	50.44
10	36.63	48.39	48.14	50.11	41.11

ที่เวลา 21 วัน (หน่วย : MPa)

ชั้นที่	CW	CA	KW	KA	MTA
1	77.3	89.37	79.95	92.55	79.17
2	72.95	93.75	73.66	96.84	81.04
3	76.11	89.98	80.24	91.44	82.77
4	71.74	89.82	76.11	89.88	80.11
5	80.89	90.72	81.14	87.53	86.57
6	77.84	87.99	82.55	92.54	80.79
7	82.49	89.56	81.66	98.86	79.44
8	76.54	100.52	88.98	82.79	81.21
9	79.44	81.28	79.04	91.55	90.62
10	80.64	92.44	82.81	95.53	81.88

5.2 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของความทนแรงอัดของตัวอย่างการศึกษา

Descriptives

		N	Mean	Std.	Std.	95% Confidence		Min	Max
				Deviation		Interval for Mean			
				n		Error	Lower Bound		
1day	CW	10	40.7070	4.25849	1.34665	37.6607	43.7533	34.52	47.20
	CA	10	49.0470	4.40698	1.39361	45.8944	52.1996	41.39	54.32
	KW	10	41.3510	3.13504	.99139	39.1083	43.5937	36.52	48.14
	KA	10	52.1530	3.60380	1.13962	49.5750	54.7310	48.74	60.41
	MTA	10	48.2620	3.43625	1.08664	45.8039	50.7201	41.11	51.77
	Total	50	46.3040	5.82726	.82410	44.6479	47.9601	34.52	60.41
21days	CW	10	77.5940	3.44507	1.08943	75.1295	80.0585	71.74	82.49
	CA	10	90.5430	4.81846	1.52373	87.0961	93.9899	81.28	100.52
	KW	10	80.6140	4.10465	1.29801	77.6777	83.5503	73.66	88.98
	KA	10	91.9510	4.63479	1.46565	88.6355	95.2665	82.79	98.86
	MTA	10	82.3600	3.58461	1.13355	79.7957	84.9243	79.17	90.62
	Total	50	84.6124	6.95443	.98350	82.6360	86.5888	71.74	100.52

5.3 แสดงข้อมูลสถิติการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลความทนแรงอัดของตัวอย่าง
การศึกษา

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

type		1day	21days
CW	N	10	10
	Normal		
	Mean	40.7070	77.5940
	Parameters(a,b)		
	Std. Deviation	4.25849	3.44507
	Most Extreme		
	Absolute	.210	.133
	Differences		
	Positive	.210	.111
	Negative	-.159	-.133
	Kolmogorov-Smirnov Z	.663	.422
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.771	.994
CA	N	10	10
	Normal		
	Mean	49.0470	90.5430
	Parameters(a,b)		
	Std. Deviation	4.40698	4.81846
	Most Extreme		
	Absolute	.221	.204
	Differences		
	Positive	.139	.185
	Negative	-.221	-.204
	Kolmogorov-Smirnov Z	.699	.645
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.712	.800

Continue..

KW	N		10	10
	Normal	Mean	41.3510	80.6140
	Parameters(a,b)			
		Std. Deviation	3.13504	4.10465
	Most Extreme	Absolute	.187	.196
	Differences			
		Positive	.187	.196
		Negative	-.111	-.151
		Kolmogorov-Smirnov Z	.593	.621
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.874	.836
KA	N		10	10
	Normal	Mean	52.1530	91.9510
	Parameters(a,b)			
		Std. Deviation	3.60380	4.63479
	Most Extreme	Absolute	.257	.156
	Differences			
		Positive	.257	.149
		Negative	-.172	-.156
		Kolmogorov-Smirnov Z	.813	.494
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.522	.968
MTA	N		10	10
	Normal	Mean	48.2620	82.3600
	Parameters(a,b)			
		Std. Deviation	3.43625	3.58461
	Most Extreme	Absolute	.190	.254
	Differences			
		Positive	.154	.254
		Negative	-.190	-.187
		Kolmogorov-Smirnov Z	.602	.805
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.861	.537

a Test distribution is Normal. b Calculated from data.

5.4 แสดงการวิเคราะห์ความทนแรงอัดของตัวอย่างที่ศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1 day	.682	4	45	.608
21 days	.113	4	45	.977

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1day	Between Groups	1014.272	4	253.568	17.565	.000
	Within Groups	649.619	45	14.436		
	Total	1663.892	49			
21days	Between Groups	1593.455	4	398.364	23.090	.000
	Within Groups	776.385	45	17.253		
	Total	2369.840	49			

Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
1 day	CW	CA	-8.34000(*)	1.69918	.000	-13.1681	-3.5119
		KW	-.64400	1.69918	.995	-5.4721	4.1841
		KA	-11.44600(*)	1.69918	.000	-16.2741	-6.6179
		MTA	-7.55500(*)	1.69918	.001	-12.3831	-2.7269
	CA	CW	8.34000(*)	1.69918	.000	3.5119	13.1681
		KW	7.69600(*)	1.69918	.000	2.8679	12.5241
		KA	-3.10600	1.69918	.371	-7.9341	1.7221
		MTA	.78500	1.69918	.990	-4.0431	5.6131
	KW	CW	.64400	1.69918	.995	-4.1841	5.4721
		CA	-7.69600(*)	1.69918	.000	-12.5241	-2.8679
		KA	-10.80200(*)	1.69918	.000	-15.6301	-5.9739
		MTA	-6.91100(*)	1.69918	.002	-11.7391	-2.0829
	KA	CW	11.44600(*)	1.69918	.000	6.6179	16.2741
		CA	3.10600	1.69918	.371	-1.7221	7.9341
		KW	10.80200(*)	1.69918	.000	5.9739	15.6301
		MTA	3.89100	1.69918	.167	-.9371	8.7191
MTA	CW	7.55500(*)	1.69918	.001	2.7269	12.3831	
	CA	-.78500	1.69918	.990	-5.6131	4.0431	
	KW	6.91100(*)	1.69918	.002	2.0829	11.7391	
	KA	-3.89100	1.69918	.167	-8.7191	.9371	

* The mean difference is significant at the .05 level.

Continuue...

Dependent Variable	(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
21 days	CW	CA	-12.94900(*)	1.85758	.000	-18.2272	-7.6708
		KW	-3.02000	1.85758	.489	-8.2982	2.2582
		KA	-14.35700(*)	1.85758	.000	-19.6352	-9.0788
		MTA	-4.76600	1.85758	.094	-10.0442	.5122
	CA	CW	12.94900(*)	1.85758	.000	7.6708	18.2272
		KW	9.92900(*)	1.85758	.000	4.6508	15.2072
		KA	-1.40800	1.85758	.941	-6.6862	3.8702
		MTA	8.18300(*)	1.85758	.001	2.9048	13.4612
	KW	CW	3.02000	1.85758	.489	-2.2582	8.2982
		CA	-9.92900(*)	1.85758	.000	-15.2072	-4.6508
		KA	-11.33700(*)	1.85758	.000	-16.6152	-6.0588
		MTA	-1.74600	1.85758	.880	-7.0242	3.5322
	KA	CW	14.35700(*)	1.85758	.000	9.0788	19.6352
		CA	1.40800	1.85758	.941	-3.8702	6.6862
		KW	11.33700(*)	1.85758	.000	6.0588	16.6152
		MTA	9.59100(*)	1.85758	.000	4.3128	14.8692
	MTA	CW	4.76600	1.85758	.094	-.5122	10.0442
		CA	-8.18300(*)	1.85758	.001	-13.4612	-2.9048
KW		1.74600	1.85758	.880	-3.5322	7.0242	
KA		-9.59100(*)	1.85758	.000	-14.8692	-4.3128	

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 day

Tukey HSD

type	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CW	10	40.7070	
KW	10	41.3510	
MTA	10		48.2620
CA	10		49.0470
KA	10		52.1530
Sig.		.995	.167

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

21 days

Tukey HSD

type	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CW	10	77.5940	
KW	10	80.6140	
MTA	10	82.3600	
CA	10		90.5430
KA	10		91.9510
Sig.		.094	.941

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ตอนที่ 6 การศึกษาสภาพละลายได้

6.1 แสดงข้อมูลคุณสมบัติสภาพละลายได้ของตัวอย่างการศึกษา (หน่วย : ร้อยละโดยน้ำหนัก)

6.1.1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างผสมด้วยน้ำกลั่น (CW)

ชั้นที่	1 วัน	7 วัน	21 วัน
1	0.9959	0.5029	0.4212
2	1.3799	0.5761	0.5795
3	1.6420	0.8347	0.7576
4	0.9182	0.6740	0.6785
5	1.5408	0.5477	0.7868
6	0.9554	0.5627	0.6467
7	0.8059	0.8124	0.9680
8	1.1245	1.0561	0.9031
9	1.2112	0.8429	0.9274
10	0.8994	0.7426	0.8313

6.1.2 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตราช้างผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (CA)

ชั้นที่	1 วัน	7 วัน	21 วัน
1	1.8034	0.9183	0.8341
2	1.4646	0.8258	0.8326
3	1.8082	0.9608	0.6467
4	1.5885	1.0761	0.9324
5	1.0334	0.8835	0.7293
6	1.2763	0.9125	1.0744
7	1.4207	0.8006	0.8878
8	1.0277	0.8786	0.9670
9	1.4706	0.9950	1.0050
10	1.4012	0.8975	0.9057

6.1.3 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากิเลนผสมด้วยน้ำกลั่น (KW)

ชั้นที่	1 วัน	7 วัน	21 วัน
1	0.8203	0.6617	0.7494
2	1.3832	0.7426	0.6650
3	0.9501	0.6395	0.7241
4	1.5860	1.1026	0.9434
5	1.0456	0.6792	0.5319
6	1.2821	0.7639	0.8468
7	1.0860	0.7601	0.6809
8	0.9076	0.8326	0.7557
9	0.8565	0.7919	0.9434
10	0.9939	0.7722	0.8560

6.1.4 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ตรากิเลนผสมด้วยแคลเซียมคลอไรด์และเมททิลเซลลูโลส (KA)

ชั้นที่	1 วัน	7 วัน	21 วัน
1	1.3168	0.7064	0.8696
2	1.2094	0.6121	0.6159
3	1.3611	0.8929	0.8190
4	1.2715	0.6818	0.9916
5	1.2167	0.8468	0.9317
6	1.4537	0.7764	0.6260
7	1.4604	0.7800	0.7075
8	1.4243	0.8365	0.9202
9	1.4179	0.8327	0.8397
10	1.3304	0.9738	0.7564

6.1.5 ไรท์โปรรุธเอ็มทีเอ (MTA)

ชั้นที่	1 วัน	7 วัน	21 วัน
1	0.7564	0.6860	0.3837
2	0.8772	0.7241	0.8104
3	0.9471	0.7968	0.7229
4	0.8178	0.8246	0.7559
5	0.9507	0.8726	0.8803
6	1.0462	0.9692	0.6228
7	0.9916	0.8475	0.7770
8	1.0252	0.9562	0.8850
9	1.0450	0.9748	0.7383
10	0.8142	0.8209	0.7524

6.2 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาสภาพละลายได้ของตัวอย่างศึกษา

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
						Lower Bound	Upper Bound		
						1	CW		
	CA	10	1.42944	.269598	.085254	1.23658946	1.62230810	1.0276	1.8081
	KW	10	1.09113	.249475	.078891	.91266981	1.26959820	.8203	1.5859
	KA	10	1.34622	.093240	.029485	1.27952053	1.41292041	1.2093	1.4604
	MTA	10	.92716	.104956	.033190	.85207906	1.00224127	.7564	1.0462
	Total	50	1.18825	.277169	.039197	1.10948568	1.26702729	.7564	1.8081

Continue...

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
						Lower Bound	Upper Bound		
7	CW	10	.71521	.174602	.055214	.59031050	.84011662	.5029	1.0560
day	CA	10	.91487	.080366	.025414	.85738679	.97236811	.8006	1.0760
	KW	10	.77464	.130264	.041193	.68146383	.86783520	.6394	1.1026
	KA	10	.79394	.106476	.033670	.71777315	.87011118	.6120	.9737
	MTA	10	.84725	.099209	.031372	.77628401	.91822395	.6859	.9748
	Total	50	.80918	.135870	.019215	.77057293	.84780173	.5029	1.1026
21	CW	10	.75000	.171065	.054095	.62763069	.87237717	.4212	.9679
day	CA	10	.88151	.127327	.040264	.79042661	.97259568	.6467	1.0744
	KW	10	.76964	.129884	.041073	.67673597	.86256337	.5319	.9433
	KA	10	.80776	.128807	.040732	.71561692	.89990424	.6158	.9916
	MTA	10	.73286	.144481	.045689	.62950612	.83621820	.3837	.8849
	Total	50	.78835	.145536	.020581	.74699657	.82971843	.3837	1.0744

6.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลเวลาการแข่งขันตัวของตัวอย่าง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

type			sol1	sol7	sol21
CW	N		10	10	10
	Normal	Mean	1.1473190	.71521356	.75000393
	Parameters(a,b)		0		
		Std. Deviation	.28840375	.17460243	.17106599
			6	8	4
	Most Extreme	Absolute			
	Differences		.200	.187	.118
		Positive	.200	.187	.101
		Negative	-.118	-.112	-.118
	Kolmogorov-Smirnov Z		.633	.592	.372
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.817	.875	.999
CA	N		10	10	10
	Normal	Mean	1.4294487	.91487745	.88151115
	Parameters(a,b)		8		
		Std. Deviation	.26959873	.08036640	.12732740
			7	5	3
	Most Extreme	Absolute			
	Differences		.158	.183	.151
		Positive	.139	.183	.084
		Negative	-.158	-.126	-.151
	Kolmogorov-Smirnov Z		.500	.579	.476
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.964	.891	.977

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Continue...

type			sol1	sol7	sol21
KW	N		10	10	10
	Normal	Mean	1.0911340		
	Parameters(a,b)		1	.77464951	.76964967
		Std. Deviation	.24947573	.13026460	.12988439
			8	0	8
	Most Extreme	Absolute			
	Differences		.208	.247	.143
		Positive	.208	.247	.143
		Negative	-.139	-.150	-.124
		Kolmogorov-Smirnov Z	.658	.782	.452
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.779	.574	.987	
KA	N		10	10	10
	Normal	Mean	1.3462204		
	Parameters(a,b)		7	.79394216	.80776058
		Std. Deviation	.09324009	.10647694	.12880795
			1	1	3
	Most Extreme	Absolute			
	Differences		.179	.142	.135
		Positive	.118	.110	.121
		Negative	-.179	-.142	-.135
		Kolmogorov-Smirnov Z	.566	.449	.426
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.906	.988	.993	

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Continue...

type		sol1	sol7	sol21
<i>MTA</i>	N	10	10	10
	Normal	Mean		
	Parameters(a,b)	.92716017	.84725398	.73286216
		Std. Deviation		
		.10495614	.09920917	.14448178
		8	4	1
	Most Extreme	Absolute		
	Differences	.175	.164	.272
		Positive		
		.151	.099	.146
		Negative		
		-.175	-.164	-.272
	Kolmogorov-Smirnov Z	.555	.518	.862
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.918	.951	.448

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Continue...

6.4 แสดงการวิเคราะห์สภาพละลายได้ของตัวอย่างศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
sol1	3.461	4	45	.015
sol7	1.858	4	45	.135
sol21	.379	4	45	.822

ANOVA

sol1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.624	4	.406	8.537	.000
Within Groups	2.140	45	.048		
Total	3.764	49			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: sol1

Dunnett T3

(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
CW	CA	-.282129778	.124843985	.279	-.67575744	.11149789
	KW	.056184994	.120588088	1.000	-.32475835	.43712833
	KA	-.198901468	.095849069	.401	-.52561371	.12781077
	MTA	.220158834	.097052831	.304	-.10788003	.54819770
CA	CW	.282129778	.124843985	.279	-.11149789	.67575744
	KW	.338314772	.116155767	.082	-.02798304	.70461259
	KA	.083228310	.090209308	.978	-.22282829	.38928491
	MTA	.502288612(*)	.091487306	.001	.19468791	.80988931
KW	CW	-.056184994	.120588088	1.000	-.43712833	.32475835
	CA	-.338314772	.116155767	.082	-.70461259	.02798304
	KA	-.255086462	.084221053	.090	-.53917253	.02899960
	MTA	.163973841	.085588514	.487	-.12194429	.44989197
KA	CW	.198901468	.095849069	.401	-.12781077	.52561371
	CA	-.083228310	.090209308	.978	-.38928491	.22282829
	KW	.255086462	.084221053	.090	-.02899960	.53917253
	MTA	.419060303(*)	.044395391	.000	.27892764	.55919296
MTA	CW	-.220158834	.097052831	.304	-.54819770	.10788003
	CA	-.502288612(*)	.091487306	.001	-.80988931	-.19468791
	KW	-.163973841	.085588514	.487	-.44989197	.12194429
	KA	-.419060303(*)	.044395391	.000	-.55919296	-.27892764

* The mean difference is significant at the .05 level.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
sol7	Between Groups	.229	4	.057	3.808	.009
	Within Groups	.676	45	.015		
	Total	.905	49			
sol21	Between Groups	.140	4	.035	1.748	.156
	Within Groups	.898	45	.020		
	Total	1.038	49			

Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
sol7	CW	CA	-.199663(*)	.054806	.006	-.35539	-.04393
		KW	-.059435	.054806	.814	-.21516	.09629
		KA	-.078728	.054806	.608	-.23445	.07700
		MTA	-.132040	.054806	.132	-.28776	.02368
	CA	CW	.199663(*)	.054806	.006	.04393	.35539
		KW	.140227	.054806	.096	-.01550	.29595
		KA	.120935	.054806	.196	-.03479	.27666
		MTA	.067623	.054806	.732	-.08810	.22335
	KW	CW	.059435	.054806	.814	-.09629	.21516
		CA	-.140227	.054806	.096	-.29595	.01550
		KA	-.019292	.054806	.997	-.17502	.13643
		MTA	-.072604	.054806	.677	-.22833	.08312
	KA	CW	.078728	.054806	.608	-.07700	.23445
		CA	-.120935	.054806	.196	-.27666	.03479
		KW	.019292	.054806	.997	-.13643	.17502
		MTA	-.053311	.054806	.866	-.20904	.10241
MTA	CW	.132040	.054806	.132	-.02368	.28776	
	CA	-.067623	.054806	.732	-.22335	.08810	
	KW	.072604	.054806	.677	-.08312	.22833	
	KA	.053311	.054806	.866	-.10241	.20904	

* The mean difference is significant at the .05 level.

Continue...

Dependent Variable	(I) type	(J) type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
sol21	CW	CA	-.131507	.063186	.246	-.31104	.04803
		KW	-.019645	.063186	.998	-.19918	.15989
		KA	-.057756	.063186	.890	-.23729	.12178
		MTA	.017141	.063186	.999	-.16239	.19668
	CA	CW	.131507	.063186	.246	-.04803	.31104
		KW	.111861	.063186	.403	-.06767	.29140
		KA	.073750	.063186	.770	-.10578	.25329
		MTA	.148648	.063186	.148	-.03089	.32818
	KW	CW	.019645	.063186	.998	-.15989	.19918
		CA	-.111861	.063186	.403	-.29140	.06767
		KA	-.038110	.063186	.974	-.21765	.14142
		MTA	.036787	.063186	.977	-.14275	.21632
	KA	CW	.057756	.063186	.890	-.12178	.23729
		CA	-.073750	.063186	.770	-.25329	.10578
		KW	.038110	.063186	.974	-.14142	.21765
		MTA	.074898	.063186	.760	-.10464	.25443
MTA	CW	-.017141	.063186	.999	-.19668	.16239	
	CA	-.148648	.063186	.148	-.32818	.03089	
	KW	-.036787	.063186	.977	-.21632	.14275	
	KA	-.074898	.063186	.760	-.25443	.10464	

* The mean difference is significant at the .05 level.

sol7

Tukey HSD

type	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
CW	10	.71521356	
KW	10	.77464951	.77464951
KA	10	.79394216	.79394216
MTA	10	.84725398	.84725398
CA	10		.91487745
Sig.		.132	.096

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

sol21

Tukey HSD

type	N	Subset for
		alpha = .05
		1
MTA	10	.73286216
CW	10	.75000393
KW	10	.76964967
KA	10	.80776058
CA	10	.88151115
Sig.		.148

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ทันตแพทย์ปริญญ์ วีระโสภณ เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ.2525 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาที่โรงเรียนเซนต์คาเบรียล ในปี พ.ศ.2543 และเข้าศึกษาต่อในคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี เดียวกัน โดยจบการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2549

หลังจบการศึกษาเป็นทันตแพทย์ ได้เข้ารับราชการเป็นทันตแพทย์ระดับ 4 ที่โรงพยาบาลอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง ในปี พ.ศ.2549 ถึง 2550 และลาออกจากราชการเพื่อกลับภูมิลำเนา และปฏิบัติงานเป็นทันตแพทย์ทั่วไปที่โรงพยาบาลเปาโลเมโมเรียล (พหลโยธิน) กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2550 และ 2551 ก่อนเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาเอ็นโดดอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2551