การวิเคราะห์คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

Analysis of characteristics of cement paste in a combined unsymmetrical double-feed microwave and vacuum dryer

ศิระ เลิศวิริยจิตต์[1)] สุภัชชา นาวารัตน์[1)] ณัฏฐ์ มากุล[2)] และ สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย*[1)]

Sira Lertwiriyajitta[1)], Supatcha Navaret[1)], Natt Makul[2)] and Somsak Vongpradubchai*[1)]

[1)] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

[2)] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร จังหวัดกรุงเทพฯ 10220

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ โดยวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของผิวซีเมนต์เพสต์ การถ่ายเทความชื้นในซีเมนต์เพสต์ โดยมีอิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อคอนกรีต ซึ่งจะใช้คลื่นไมโครเวฟที่ป้อนจากแมกนีตรอน และวัสดุที่ใช้คือซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่มีปริมาณความชื้นก่อนอบแห้งโดยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศที่ร้อยละ 38 45 และ 75 มาตรฐานแห้ง และสิ้นสุดการอบแห้งเมื่อปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 22 38 และ 38 มาตรฐานแห้งตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อป้อนคลื่นไมโครเวฟให้กับซีเมนต์เพสต์ จะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากมีค่าความชื้นเริ่มต้นสูง ส่งผลให้มีค่าไดอิเล็กตริกสูง ทำให้ดูดซับคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้ดี เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นลดลง การดูดซับคลื่นลดลง ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีอุณหภูมิเริ่มคงที่ และเมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรง พบว่า กรณีของซีเมนต์เพสต์ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 สามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ที่ความดันสุญญากาศต่ำจะส่งผลให้จุดเดือดต่ำลง ทำให้น้ำหรือความชื้นในซีเมนต์เพสต์ระเหยได้เร็ว และลดปริมาณความชื้นได้เร็วกว่าความดันสุญญากาศสูง

คำสำคัญ: ซีเมนต์เพสต์ ระบบสุญญากาศ คลื่นไมโครเวฟ

Abstract

The purpose of this research is to conduct an experiment of drying cement paste using a combined double-feed low power microwave and vacuum system to study how microwave power and vacuum pressure (30 kPa and 50 kPa) could affect the temperature, humidity, and quality of the cement paste. The microwave is installed with magnetrons and the materials were tested are cement paste at W/C = 0.38, 0.45 and 0.75 which had a 38, 45 and 75% db. humidity before drying in a combined double-feed low power microwave and vacuum, and finally dropped to 22, 38 and 38% db.

From the experiment, when the cement paste were being dried in the microwave, its temperature rises because of its high level of humidity, resulting a high dielectric constant and making the cement paste absorbs the waves and heats up. As it become less humid, it absorbed fewer waves and created a stable temperature. Considering about the quality, we found that cement paste, using a microwave with 50 kPa vacuum pressure at W/C = 0.45 will give the high compressive strength. Moreover, the experiment also shows that places with low pressure will make the process of drying the materials to dry faster than places with high pressure, since it reduces their boiling points and makes evaporation faster.

Keyword: Cement paste, Vacuum system, Microwave

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจัยสำคัญที่เป็นปัญหาของอุตสาหกรรมภายในประเทศก็คือประเทศไทยไม่สามารถผลิตเทคโนโลยีเพื่อใช้ภายในประเทศได้ ยังคงต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมควรจะส่งเสริมการพัฒนาสิ่งต่างๆ จากการวิจัย และศึกษาผลงานการวิจัยเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนเทคโนโลยีนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ในความเป็นจริงแล้ว การพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศไทยยังมีขีดจำกัด เพราะว่าผลงานวิจัยที่ใช้สำหรับเป็นรากฐานสำหรับการพัฒนานั้นยังไม่ครอบคลุม ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมต่างๆ ควรคำนึงถึงกรรมวิธีในการผลิต อัตราการใช้พลังงาน ความสะดวกสบายและความรวดเร็วของกระบวนการในการผลิตผลผลิตที่ผู้ประกอบการต้องการ ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ และต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลผลิตที่ได้ต้องมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นระยะเวลาในการผลิตคอนกรีตเพื่อนำมาใช้ในการผลิตทางอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน

การผลิตคอนกรีตในปัจจุบันนี้มีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง เนื่องด้วยเงื่อนไขสภาวะทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาให้เกิดความรู้ใหม่ในการทำให้คอนกรีตออกไปสู่ท้องตลาดอย่างรวดเร็วและมีคุณภาพนั้นเป็นสิ่งที่เป็นเป้าหมายหลักของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะการพัฒนาให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน และสูญเสียคุณภาพน้อยที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการผลิตที่สั้นที่สุด โดยปกติแล้วหากจะผลิตให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง จำเป็นจะต้องใช้มากกว่า 1 วัน และต้องบ่มด้วยวิธีปกติอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยเทคโนโลยีในการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการต่างๆ ในปัจจุบันนี้ยังมีข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น การเร่งกำลังคอนกรีตด้วยวิธีออโตเคล์ฟ (Autoclave) ยังมีการกระจายตัวของความร้อน

ภายในคอนกรีตอย่างไม่สม่ำเสมอเพราะว่าคอนกรีตมีการนำความร้อนที่ต่ำ มีผลให้คอนกรีตเกิดความแปรผันสมบัติค่อนข้างมาก อีกทั้งยังต้องใช้เวลาโดยรวมไม่ต่ำกว่า 1 วัน จึงจะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังตามที่ได้กำหนด ซึ่งถ้าหากใช้สารเร่งการพัฒนากำลังจะมีผลเสียต่อความแข็งแรง ทนทานของคอนกรีต[3] เช่นกัน ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมจึงจำเป็นที่จะต้องมีเทคโนโลยีอย่างอื่นไว้เป็นทางเลือกอย่างเช่นการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟ[4] ร่วมกับระบบสุญญากาศมาใช้ในการเร่งกำลังในช่วงต้นก็เป็นทางเลือกใหม่อีกทางเลือกหนึ่งเพราะว่าพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้านการให้ความร้อนที่สูง สะอาด แล้วยังมีการกระจายตัวของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ[5] ซึ่งเป็นผลดีกับคุณสมบัติของคอนกรีต แต่ในปัจจุบันนี้การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟในการบ่มคอนกรีตจากงานวิจัยต่างๆยังทำการทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่อยู่ในครัวเรือนเป็นหลัก ส่วนกลไกพื้นฐานของความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไมโครเวฟและคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่เป็นคุณสมบัติหลักของคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อนยังไม่ค่อยมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้ซีเมนต์เพสต์ในการทดลองเนื่องจากซีเมนต์เพสต์มีส่วนผสมที่น้อยกว่า หาได้ง่ายกว่า แต่สามารถใช้ทดลองเพื่อศึกษาถึงปริมาณความชื้น และความแข็งแรงได้เท่าเทียมกับคอนกรีต โดยในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ รวมถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความชื้น และคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบ่มซีเมนต์เพสต์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการพื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร[1] (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่มีการสูญเสียสนามแม่เหล็กค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

2.2 สมการการหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นแห้ง (Dry Basis) ของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ[2]

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \qquad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ค่าความชื้นแห้งมาตรฐาน (Dry Basis) คือ น้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่ชื้น คือ น้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่แห้ง

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานคอนกรีต

คอนกรีต หมายถึง วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านราคาและสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบไปด้วยวัสดุผสม 2 ส่วน ได้แก่ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมได้แก่ ทรายและหิน เมื่อนำมาผสมกันแล้วจะยังคงสภาพเป็นของเหลวช่วงหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ หลังจากนั้นก็จะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น[6] การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ 1. อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำก่อให้เกิดไอออนในสารละลาย

และไอออนนี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น 2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย

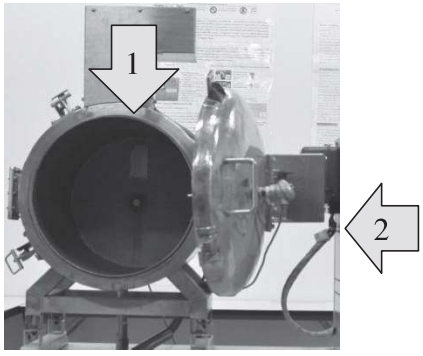
งานวิจัยนี้ศึกษาการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ โดยวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของผิวซีเมนต์เพสต์ ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ การถ่ายเทความชื้นในซีเมนต์เพสต์ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ ซึ่งในการทดลองแต่ละกรณี จะใช้ซีเมนต์เพสต์ที่พึ่งก่อตัวในระยะเริ่มต้น ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ ความดันสุญญากาศ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ และตำแหน่งแมกนีตรอน รายละเอียดต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดการทดลองบ่มซีเมนต์เพสต์ในแต่ละกรณีศึกษา

กรณี	จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก้อน)	อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์	ความดันสุญญากาศ (kPa)	ตำแหน่งแมกนีตรอน
1	12	0.38	30	1
2	12	0.38	50	1
3	12	0.45	30	1
4	12	0.45	50	1
5	12	0.75	30	1
6	12	0.75	50	1
7	12	0.45	50	2
8	12	0.45	50	1, 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ (ต่อซีเมนต์เพสต์ 1 ก้อน)

อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
0.38	400	152
0.45	380	171
0.75	320	240



รูปที่ 1 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 2

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การทำซีเมนต์เพสต์

นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 (Normal Portland Cement) และน้ำมาชั่งน้ำหนักให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการ (ดังตารางที่ 2) จากนั้นเทส่วนผสมทั้งหมดลงในเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ เมื่อปูนซีเมนต์และน้ำผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำออกมาเทลงแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ ในระหว่างที่เทลงแบบพิมพ์ให้ใช้ค้อนยางเคาะอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในซีเมนต์เพสต์

3.2.2 ทดลองโดยใช้เตาอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 105 °C

นำซีเมนต์เพสต์ขนาด 5 x 10 x 5 cm^3 มาชั่งน้ำหนักก่อนเข้าเตาอบลมร้อนเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นอบลมร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิ 105 °C แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักสุดท้าย นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์

3.2.3 ทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

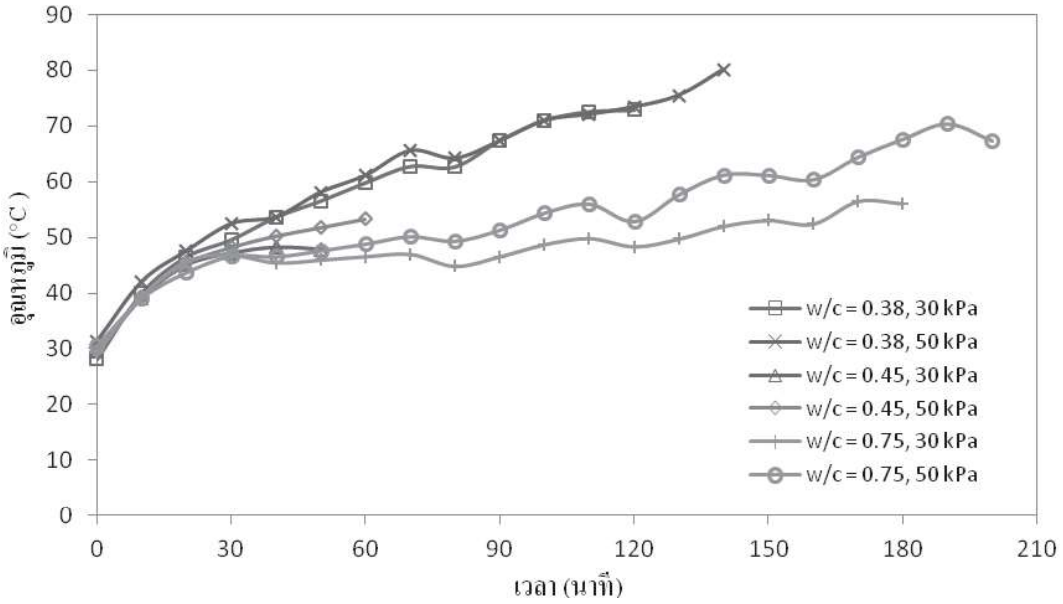
นำซีเมนต์เพสต์ขนาด 5 x 10 x 5 cm^3 ออกจากแบบพิมพ์เพื่อมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและวัดอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนนำเข้าเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศจากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ตั้งเวลาทุกๆ 10 นาที เพื่อนำออกมาชั่งน้ำหนักที่หายไปและวัดอุณหภูมิ ถ่ายภาพการกระจายตัวของความร้อนที่ผิวซีเมนต์เพสต์ด้วยกล้องอินฟราเรดและสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เมื่อได้ค่าความชื้นที่ต้องการจึงหยุดทำการทดลองการอบแห้งซีเมนต์เพสต์คือ ค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ร้อยละ 38 45 และ 75 มาตรฐานแห้ง จะหยุดอบที่ค่าความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 22 38 และ 38 มาตรฐานแห้ง จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตโดยแบ่งเป็นทุกๆ วันที่ 1, 3, 7, และ 28 หลังการผ่านการอบโดยเครื่องไมโครเวฟที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศโดยการศึกษาอิทธิพลของความดันสุญญากาศ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยใช้โหมดไมโครเวฟแบบ Multimode Mode ความถี่ 2,450 MHz จำนวนแมกนีตรอน 2 ตัว กำลังงานที่ได้ 2 × 800 วัตต์ (W) และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยทำการเก็บค่าอุณหภูมิผิวซีเมนต์เพสต์ เปอร์เซ็นต์ความชื้น และระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์เพสต์ ได้ผลการทดลองในกรณีต่างๆ และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.1 อิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่า ในช่วงระยะเริ่มต้นของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าไดอิเล็กตริกมาก จะดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้ดีและเปลี่ยนเป็นความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ระยะกลางและระยะสุดท้ายของการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้นได้ช้ากว่าในช่วงระยะเริ่มต้น แต่ยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องมาจากเกิดความร้อนสะสมภายในซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นจากรูปที่ 2 จะพบว่าที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa มีอุณหภูมิในซีเมนต์เพสต์ที่ต่ำกว่าความดันสุญญากาศ 50 kPa เนื่องจากในสภาวะที่ความดันสุญญากาศต่ำจะมีผลทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำด้วยเช่นกัน และเมื่อสังเกตที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 จะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่องสูงที่สุดในการบ่มซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นภายในซีเมนต์เพสต์รวมถึงค่าไดอิเล็กตริกของซีเมนต์มีมากกว่าค่าไดอิเล็กตริกของน้ำ[7] จึงทำให้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่สูง

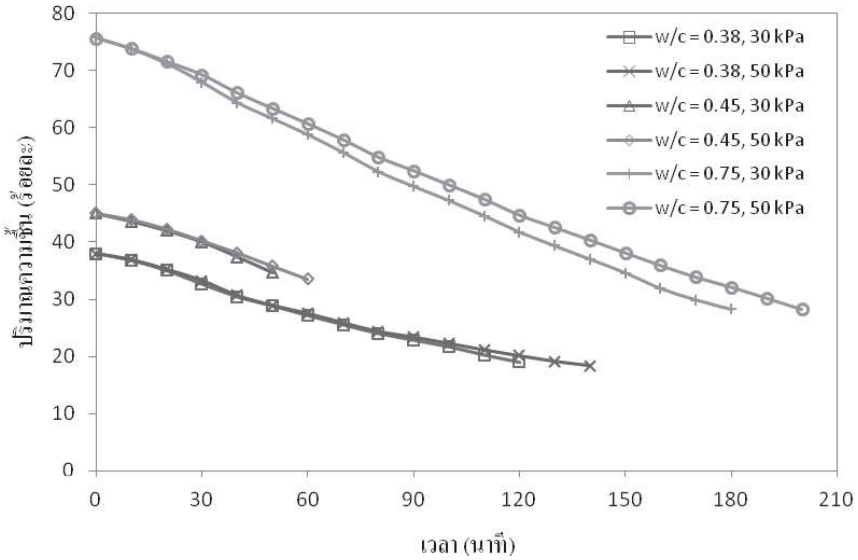


รูปที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1

4.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่า ในช่วงระยะเริ่มต้นของการบ่มซีเมนต์เพสต์ เมื่อซีเมนต์เพสต์ได้รับพลังงานไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กตริก จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเนื่องจากซีเมนต์เพสต์มีการกระจายตัวของความชื้นสม่ำเสมอทั่ววัสดุ เมื่อเกิดการระเหยและกลั่นตัวภายใน ซึ่งอัตราการระเหยของความชื้นออกจากซีเมนต์เพสต์ในช่วงต้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

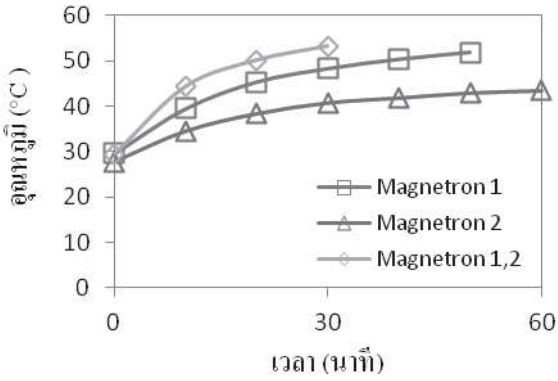
เมื่อเข้าสู่ระยะกลางและระยะสุดท้ายของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์ยังคงลดลงอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อสังเกตจากรูปที่ 3 จะพบว่า ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa ปริมาณความชื้นลดลงเร็วกว่า และใช้เวลาในการบ่มซีเมนต์เพสต์เพื่อให้ได้ค่าปริมาณความชื้นที่พอเหมาะที่น้อยกว่าความดันสุญญากาศ 50 kPa เนื่องจากความดันสุญญากาศต่ำ จะมีผลทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง ส่งผลให้น้ำหรือความชื้นระเหยได้เร็วกว่าความดันสุญญากาศที่สูง และที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีผลกับปริมาณความชื้นที่ลดลง นั่นก็คือ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงจะทำให้ปริมาณความชื้นที่ลดลงสูงตามไปด้วย เนื่องจากภายในซีเมนต์เพสต์มีปริมาณความชื้นมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อย



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1

4.3 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

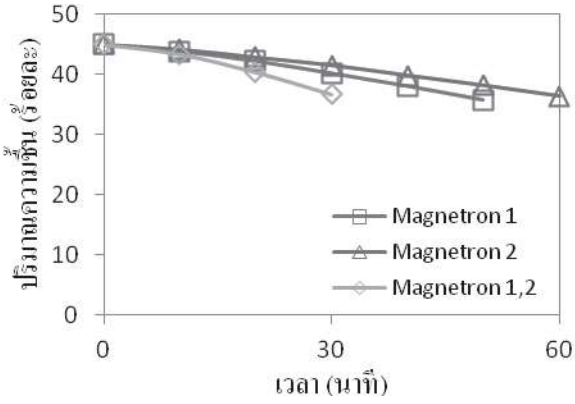
จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2 x 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด เนื่องจากมีค่ากำลังไมโครเวฟที่ป้อนเข้าถึง 1600 วัตต์ (W) และที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 มีอุณหภูมิต่ำที่สุด



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

4.4 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2 x 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 ปริมาณลดลงเร็วที่สุด เนื่องจากค่ากำลังไมโครเวฟสูง จึงทำให้ความชื้นระเหยออกได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

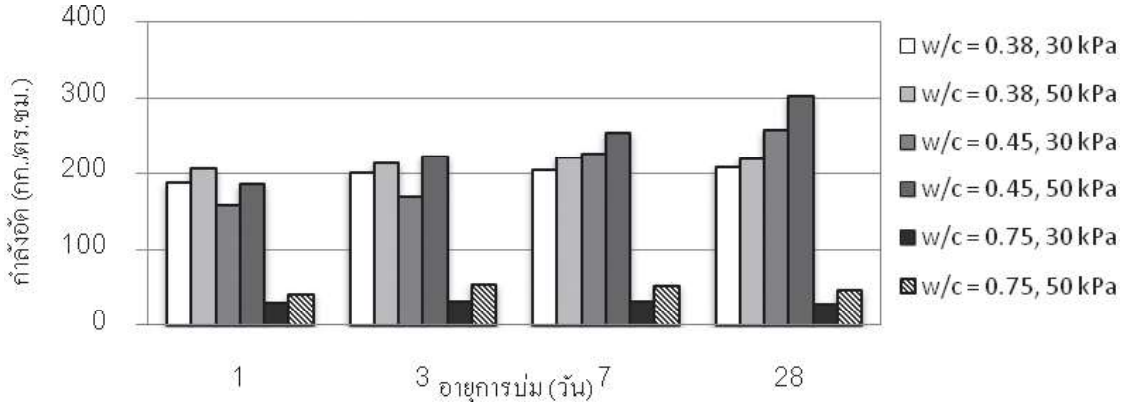


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

4.5 อิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่าการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 1 วัน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยคือ 0.38 จะสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามากระยะถัดไปคือการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 3 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ความดันสุญญากาศ 50 kPa สามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด เนื่องจากค่าปริมาณความชื้นที่เหลือภายในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38

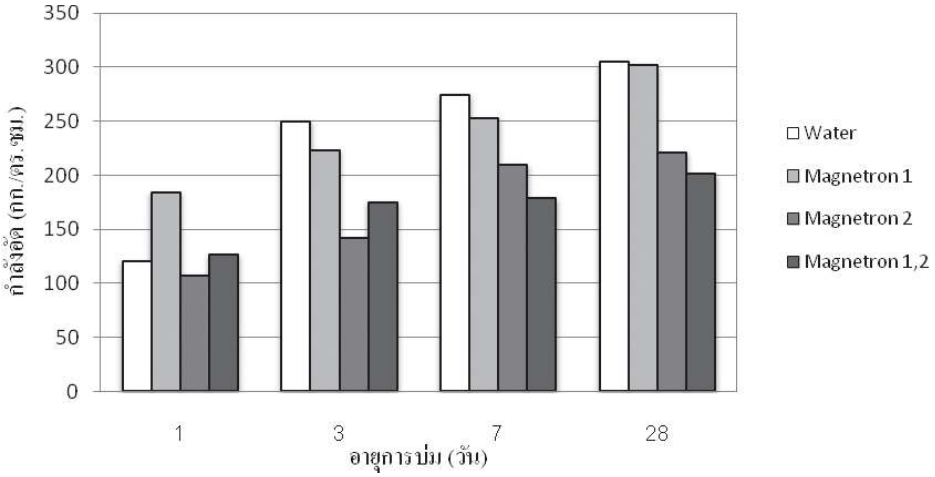
เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) แต่ค่าปริมาณความชื้นที่เหลือภายในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) ทำให้โครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 เกิดความเสียหาย จึงทำให้สามารถในการรับกำลังอัดพัฒนาได้ช้าลง กำลังอัดในช่วงระยะเวลา 7 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 พัฒนาความแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความสามารถให้การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นไปจนถึงระยะเวลาที่ 28 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ความดันสุญญากาศ 50 kPa สามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด คือ 301.4 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร และเมื่อพิจารณาจะพบว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จะมีกำลังอัดมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa ที่ระยะเวลา 1, 3, 7 และ 28 วัน



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

4.6 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2 x 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่าการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 1 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 สามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 และ ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 ระยะถัดไปคือการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 3 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำสามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี เมื่อนำซีเมนต์เพสต์มาบ่มด้วยน้ำจึงทำให้ความสามารถให้การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กำลังอัดในช่วงระยะเวลา 7 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ได้พัฒนาความแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความสามารถให้การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นแต่ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 สามารถรับกำลังอัดได้สูงรองจากซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ไปจนถึงระยะเวลาที่ 28 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ สามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด คือ 304.4 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 สามารถรับกำลังอัดได้มากถึง 301.4 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 สามารถรับกำลังอัดได้มากถึง 220.9 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร และซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 สามารถรับกำลังอัดได้น้อยที่สุดคือ 201.2 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2 และ 1 กับ 2 โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

5. สรุปผลการทดลอง

ความดันสุญญากาศมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งก็คือความดันสุญญากาศต่ำจะส่งผลให้จุดเดือดต่ำลง ทำให้น้ำหรือความชื้นในซีเมนต์เพสต์ระเหยได้เร็ว และลดปริมาณความชื้นได้เร็วกว่าความดันสุญญากาศสูง

อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ กล่าวคือ ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยจะมีผลทำให้อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามากเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นภายในซีเมนต์เพสต์ นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ยังมีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัด นั่นก็คืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยคือจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามาก แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน สามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. พื้นฐานการทำไมโครเวฟ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2008

[2] กัสตูรี เจ๊ะนิ. การพัฒนาเครื่องต้นแบบด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ; 2009

[3] N. Suwannapum and P. Rattanadecho, et al. “Development of compressive strength of cement paste under accelerated curing by using a continuous microwave thermal processor”. Materials Science and Engineering A 472. 2008: 299–307

[4] N. Makul, B. Chatveera and P. Ratanadecho. “Use of microwave energy for accelerated curing of concrete: a review”. Songklanakarin J. Sci. Technol. 2009; 31 (1): 1-13

[5] N. Makul and P. Rattanadecho, et al. “Microwave curing at an operating frequency of 2.45 GHz of Portland cement paste at early-stage using a multi-mode cavity: Experimental and numerical analysis on heat transfer characteristics”. International Communications in Heat and Mass Transfer 2010; 37: 1487–95.

[6] N. Makul and P. Rattanadecho et al. “Microwave-assisted heating of cementitious materials: Relative dielectric properties, mechanical property, and experimental and numerical heat transfer characteristics”. International Communications in Heat and Mass Transfer 2010; 37: 1096-105.

[7] N. Makul, P. Rattanadecho and Dinesh K. Agrawal. “Applications of microwave energy in cement and concrete – A review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014; 37: 715–33