



การวิเคราะห์การอบแห้งและศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่อง
ไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

โดย

นายศิริระ เลิศวิริยจิตต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์การอบแห้งและศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่อง
ไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

โดย

นายศิระ เลิศวิริยจิตต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



DRYING AND CHARACTERISTICS OF CEMENT PASTE IN
A COMBINED UNSYMMETRICAL DOUBLE-FEED
MICROWAVE AND VACUUM DRYER

BY

MR.SIRA LERTWIRIJITTA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายศิระ เลิศวิริยจิตต์

เรื่อง

การวิเคราะห์การอบแห้งและศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์โดยใช้
เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2558

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



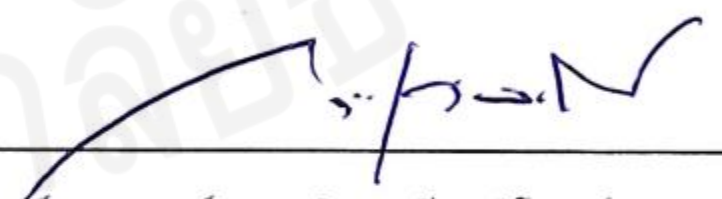
(ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



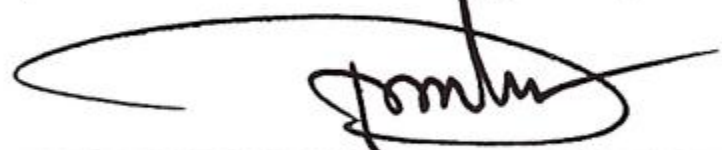
(อาจารย์ ดร.กริช เจียมจิโรจน์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ มากุล)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การอบแห้งและศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์ เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบ ไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ
ชื่อผู้เขียน	นายศิระ เลิศวิริยจิตต์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการอบซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการอบซีเมนต์เพสต์ โดยวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของผิวซีเมนต์เพสต์ การถ่ายเทความร้อนในซีเมนต์เพสต์ โดยมีอิทธิพลของความดันสุญญากาศ อัตราส่วนของน้ำต่อคอนกรีต จำนวนซีเมนต์เพสต์ และตำแหน่งแมกนีตรอน ซึ่งจะทำการทดลองเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งยังทำการตรวจสอบโครงสร้าง และทดสอบความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์

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 แมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟ

Thesis Title	DRYING AND CHARACTERISTICS OF CEMENT PASTE IN A COMBINED UNSYMMETRICAL DOUBLE-FEED MICROWAVE AND VACUUM DRYER
Author	MR.SIRA LERTWIRIJITTA
Degree	The Degree of Master of Engineering in Mechanical
Department/Faculty/University	Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Somsak Vongpradubchai
Academic Years	2015

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 that was used is installed with magnetrons and the materials that were tested are cement paste at $W/C = 0.38, 0.45, \text{ and } 0.75$ which had a 38, 45, and 75%d.b. humidity before drying in a combined double-feed low power microwave and vacuum, and finally dropped to 22, 38, and 38%d.b.

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, Magnetron, Microwave

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณบุคคล สำนักงาน และสถานที่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการให้คำแนะนำในสิ่งต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้เข้ามาศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลนี้ จนทำให้สามารถทำงานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงและมีประสิทธิภาพ

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช อาจารย์ ดร.กริช เจียมจิโรจน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ มากุล ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบ และให้คำแนะนำสารประโยชน์ต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยและงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างดี

สมาชิกของหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E) และผู้สนับสนุนอื่น ๆ ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ และความรู้ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัยฉบับนี้รวมทั้งคอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่อง

ห้องปฏิบัติการ R.C.M.E ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณนายวันชัย เลิศวิริยจิตต์ นางปรีญา เลิศวิริยจิตต์ น.ส.รัตนภรณ์ เลิศวิริยจิตต์ และครอบครัวของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจให้การสนับสนุน และให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมถึง น.ส.กัญญา โชคนิธิทรัพย์ น.ส.ณิศาณิก สุทธิภาค และเพื่อนของผู้วิจัยที่คอยส่งเสริมและให้การช่วยเหลือผู้วิจัยในการทำงานวิจัยด้วยดีเสมอมา โดยทั้งนี้หากมีท่านใด สถานที่หรือองค์กรใด ที่ผู้วิจัยมิได้กล่าวถึง ผู้วิจัยต้องขออภัยและขอขอบคุณในความช่วยเหลือต่าง ๆ เหล่านั้นไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายศิระ เลิศวิริยจิตต์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2558

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	6
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
3.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพอรุน	12
3.1.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพอรุน	12
3.1.2 รูปแบบโครงสร้างของวัสดุพอรุน	12
3.1.3 การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างกระบวนการอบแห้งในวัสดุพอรุน	14
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ	19

3.2.1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครเวฟ	19
3.2.2	ข้อดีของการทำความร้อนไมโครเวฟ	20
3.3	ทฤษฎีพื้นฐานคอนกรีต	21
3.3.1	ความหมายของคอนกรีต	22
3.3.2	ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	22
3.3.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	25
3.3.4	กำลังอัดของคอนกรีต	26
3.3.5	ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัด	26
3.3.6	การทำคอนกรีต	27
3.3.7	การบ่มคอนกรีต	27
3.4	สมการที่เกี่ยวข้อง	28
3.4.1	สมการการผลิตประมาณความร้อนเชิงปริมาตร	28
3.4.2	สมการการหาปริมาณความชื้น	29
บทที่ 4	วิธีการวิจัย	30
4.1	ขั้นตอนในการทำวิจัย	30
4.2	อุปกรณ์การทดลอง	31
4.2.1	เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ	31
4.2.2	ชุดกล้องอินฟราเรด	32
4.2.3	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	33
4.2.4	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Kitchen Scale)	33
4.2.5	กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล (Digital Microscope)	34
4.2.6	เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	34

	(6)
4.2.7 เครื่องอบลมร้อน	35
4.2.8 เครื่องผสมซีเมนต์	35
4.2.9 เครื่องชั่งน้ำหนักส่วนผสมแบบดิจิตอล	36
4.2.10 แม่พิมพ์ซีเมนต์เพสต์แบบเหล็ก	36
4.2.11 ชั้นวางซีเมนต์เพสต์แบบอะคริลิก	37
4.2.12 มิเตอร์ไฟฟ้า	37
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	38
4.3.1 การทำซีเมนต์เพสต์	38
4.3.2 ทดลองโดยใช้เตาอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 105 °C	39
4.3.3 ทดลองโดยใช้เครื่องมือโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ	39
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
5.1 ผลการทดลอง	42
5.1.1 อิทธิพลของความดันสุญญากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์	44
5.1.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์	48
5.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์	51
5.1.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์	54
5.1.5 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์	56
5.1.6 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์	58
5.1.7 อิทธิพลของจำนวนซีเมนต์เพสต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์	59
5.1.8 อิทธิพลของจำนวนซีเมนต์เพสต์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์	61

5.1.9 ภาพถ่ายการกระจายตัวของอนุภูมิภาคบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์และการกระจายตัวของอนุภูมิภาคในควิต์	63
5.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์	74
5.2.1 อิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อนซีเมนต์ที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์	74
5.2.2 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์	75
5.2.3 โครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์	77
5.3 สรุปผลการทดลอง	79
5.4 แนวทางการวิจัยในอนาคต	79
บรรณานุกรม	80
ประวัติผู้เขียน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	6
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการทดลองบ่มซีเมนต์เพสต์ในแต่ละกรณีศึกษา	30
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ (ต่อซีเมนต์เพสต์ 1 ก้อน)	31
ตารางที่ 5.1 ค่าการใช้พลังงานในการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ	42



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
ภาพที่ 1.1	รายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัย	5
ภาพที่ 3.1	โครงสร้างของวัสดุพูนแบบไม่ขึ้นมากและวัสดุพูนแบบขึ้นมาก	13
ภาพที่ 3.2	โครงสร้างวัสดุพูนแบบเซลล์ูลาร์-คาพิลลารี (Cellular Capillary)	14
ภาพที่ 3.3	ไดอะแกรมของกระบวนการอบแห้งวัสดุพูน	14
ภาพที่ 3.4	คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทมวลสาร	16
ภาพที่ 3.5	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First Falling Rate Period)	17
ภาพที่ 3.6	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง (Second Falling Rate Period)	18
ภาพที่ 3.7	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย (End Stage of Drying)	19
ภาพที่ 3.8	สเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ	20
ภาพที่ 3.9	การเรียกชื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีต	22
ภาพที่ 3.10	การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต	23
ภาพที่ 3.11	ขบวนการหน่วงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต	24
ภาพที่ 3.12	ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite	25
ภาพที่ 4.1	เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ	31
ภาพที่ 4.2	ชุดกล้องอินฟราเรด	32
ภาพที่ 4.3	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	33
ภาพที่ 4.4	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	33
ภาพที่ 4.5	กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล	34
ภาพที่ 4.6	เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต	34
ภาพที่ 4.7	เครื่องอบลมร้อน	35
ภาพที่ 4.8	เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์	35
ภาพที่ 4.9	เครื่องชั่งน้ำหนักส่วนผสมแบบดิจิตอล	36
ภาพที่ 4.10	แม่พิมพ์ซีเมนต์เพสต์แบบเหล็ก	36

ภาพที่ 4.11	ชั้นวางซีเมนต์เพสต์แบบอะคริลิค	37
ภาพที่ 4.12	มิเตอร์ไฟฟ้า	37
ภาพที่ 4.13	การผสมซีเมนต์เพสต์	38
ภาพที่ 4.14	การเทปูนซีเมนต์ลงในแบบพิมพ์	38
ภาพที่ 4.15	ซีเมนต์เพสต์สำหรับเข้าเตาอบลมร้อน	39
ภาพที่ 4.16	การชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและอุณหภูมิเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์	39
ภาพที่ 4.17	ลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์แบบ 12 ก้อน ภายในควาวิดี	40
ภาพที่ 4.18	ลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์แบบ 24 ก้อน ภายในควาวิดี	40
ภาพที่ 4.19	การถ่ายภาพการกระจายตัวของความร้อนที่ผิวซีเมนต์เพสต์	41
ภาพที่ 4.20	ภาพก่อนและหลังการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์	41
ภาพที่ 5.1	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75	46
ภาพที่ 5.2	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75	47
ภาพที่ 5.3	การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75	49
ภาพที่ 5.4	การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75	51
ภาพที่ 5.5	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa	52

- ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa 53
- ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa 55
- ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa 56
- ภาพที่ 5.9 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก) 12 ก้อน (ข) 24 ก้อน 57
- ภาพที่ 5.10 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก) 12 ก้อน (ข) 24 ก้อน 59
- ภาพที่ 5.11 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน ที่ การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอน (ก) ตัวที่ 1 (ข) ตัวที่ 2 (ค) ตัวที่ 1 กับ 2 61
- ภาพที่ 5.12 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอน (ก) ตัวที่ 1 (ข) ตัวที่ 1 กับ 2 62
- ภาพที่ 5.13 ตำแหน่งของซีเมนต์เพสต์ที่นำมาถ่ายภาพการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิว 63

- ภาพที่ 5.14 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.38 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 40 นาที (ค) 80 นาที 64
- ภาพที่ 5.15 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.38 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 40 นาที (ค) 80 นาที 64
- ภาพที่ 5.16 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.45 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที 65
- ภาพที่ 5.17 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.45 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที 65
- ภาพที่ 5.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.75 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 80 นาที (ค) 120 นาที 66
- ภาพที่ 5.19 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์
ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa
อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.75 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์
12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 80 นาที (ค) 120 นาที 66
- ภาพที่ 5.20 ตำแหน่งและทิศทางการป้อนคลื่นของแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 2 67

- ภาพที่ 5.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที 68
- ภาพที่ 5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที 68
- ภาพที่ 5.23 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 30 นาที 69
- ภาพที่ 5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที 69
- ภาพที่ 5.25 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที 70
- ภาพที่ 5.26 การกระจายตัวของอุณหภูมิจากซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที 70

ภาพที่ 5.27 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

71

ภาพที่ 5.28 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

71

ภาพที่ 5.29 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 30 นาที

72

ภาพที่ 5.30 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

72

ภาพที่ 5.31 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

73

ภาพที่ 5.32 การกระจายตัวของอนุภาคของซีเมนต์เฟสท์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่ง แมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 จำนวนซีเมนต์เฟสท์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

73

- ภาพที่ 5.33 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน 75
- ภาพที่ 5.34 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน 76
- ภาพที่ 5.35 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า 77
- ภาพที่ 5.36 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า 77
- ภาพที่ 5.37 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า 78
- ภาพที่ 5.38 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า 78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจัยสำคัญที่เป็นปัญหาของอุตสาหกรรมภายในประเทศก็คือ ประเทศไทยไม่สามารถผลิตเทคโนโลยีเพื่อใช้ภายในประเทศได้ ยังคงต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมควรส่งเสริมการพัฒนาสิ่งต่าง ๆ จากการวิจัย และศึกษาผลงานการวิจัยเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนเทคโนโลยีนำเข้าจากต่างประเทศ แต่ในความเป็นจริงแล้ว การพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศไทยยังมีขีดจำกัด เพราะว่าผลงานวิจัยที่ใช้สำหรับเป็นรากฐานสำหรับการพัฒนานั้นยังไม่ครอบคลุม ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ควรคำนึงถึงกรรมวิธีการทำ อัตราการใช้พลังงาน ความสะดวกสบายและความรวดเร็วของกระบวนการในการผลิตผลผลิตที่ผู้ประกอบการต้องการ ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ และต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลผลิตที่ได้ต้องมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นระยะเวลาในการผลิตคอนกรีตเพื่อนำมาใช้ในการผลิตทางอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน

การผลิตคอนกรีตในปัจจุบันนี้มีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง เนื่องด้วยเงื่อนไขสถานะทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาให้เกิดความรู้ใหม่ในการทำให้คอนกรีตออกไปสู่ท้องตลาดอย่างรวดเร็วและมีคุณภาพนั้นเป็นสิ่งที่เป่าหมายหลักของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะการพัฒนาให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน และสูญเสียคุณภาพน้อยที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการผลิตที่สั้นที่สุด โดยปกติแล้วหากจะผลิตให้คอนกรีตมีความแข็งแรง จำเป็นจะต้องใช้มากกว่า 1 วัน และต้องบ่มด้วยวิธีปกติดังต่อไปนี้ แต่ด้วยเทคโนโลยีในการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการต่าง ๆ ในปัจจุบันนี้ยังมีข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น การเร่งกำลังคอนกรีตด้วยวิธีโอโตคลีฟ (Autoclave) ยังมีการกระจายตัวของความร้อนภายในคอนกรีตอย่างไม่สม่ำเสมอเพราะว่าคอนกรีตมีการนำความร้อนที่ต่ำ มีผลให้คอนกรีตเกิดความแปรผันสมบัติค่อนข้างมาก อีกทั้งยังต้องใช้เวลาโดยรวมไม่ต่ำกว่า 1 วัน จึงจะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังตามที่ได้กำหนด ซึ่งถ้าหากใช้สารเร่งการพัฒนากำลังจะมีผลเสียต่อความแข็งแรงทนทานของคอนกรีตเช่นกัน ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีอย่างอื่นไว้เป็นทางเลือกอย่างเช่นการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้ในการเร่งกำลังในช่วงต้นก็เป็นทางเลือกใหม่อีกทางเลือกหนึ่งเพราะว่าพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้านการให้ความร้อนที่สูงสะอาด แล้วยังมีการกระจายตัวของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลดีกับคุณสมบัติของคอนกรีต

แต่ในปัจจุบันนี้การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟในการบ่มคอนกรีตจากงานวิจัยต่าง ๆ ยังทำการทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่อยู่ในครัวเรือนเป็นหลัก ส่วนกลไกพื้นฐานของความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไมโครเวฟและคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่เป็นคุณสมบัติหลักของคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อนยังไม่ค่อยมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย

วัสดุไดอิเล็กตริกคือวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น พืช ผลไม้ คอนกรีต ไม้ ดิน เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้จัดว่าเป็นวัสดุพอรุน โดยหลักการทำงานคือพลังงานไมโครเวฟจะสามารถทะลุผ่านเนื้อวัสดุไดอิเล็กตริกหรือวัสดุพอรุนได้ โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับ วัสดุประเภทนี้เมื่อคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านจะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานไว้บางส่วนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งความลึกที่คลื่นสามารถส่งเข้าไปภายในเนื้อวัสดุเพื่อให้เกิดความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นที่มีต่อวัสดุ โดยวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าไดอิเล็กตริกต่างกัน เมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุไดอิเล็กตริกแล้วจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุอย่างรวดเร็วและสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโครงสร้างของวัสดุได้ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟรวมไปถึงคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีสมบัติการเป็นฉนวนทางไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งสมบัติไดอิเล็กตริกจะมีค่าแปรผันกับอุณหภูมิ ส่วนอุณหภูมิของวัสดุจะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบไปตามวัสดุและค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss) ของวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกวัสดุที่มีค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริกสูงกว่าจะสามารถเปลี่ยนพลังงานที่ดูดซับไว้ไปเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าซึ่งเป็นผลทำให้มีอุณหภูมิที่สูงกว่าตามไปด้วย ถ้าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เนื้อวัสดุเกิดรอยแตกร้าวและยังคงเกิดความร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วจนกระทั่งวัสดุนั้นไหม้เรียกว่า Thermal Runaway ดังนั้นการใช้พลังงานไมโครเวฟควรจะขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านไมโครเวฟ รวมทั้งศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งเมื่อได้ค้นคว้าแล้วจะพบว่ามีการวิจัยเกี่ยวกับพลังงานไมโครเวฟ กระบวนการอบแห้งวัสดุพอรุนด้วยพลังงานไมโครเวฟระบบสุญญากาศ การบ่มคอนกรีตในช่วง 10-20 ปีที่ผ่านมา เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบ่มคอนกรีตทั้งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการเสนอการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิจัยการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งสามารถแยกเป็นข้อย่อยได้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด
3. เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ ความชื้น และคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาโดยการทดลองบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ ความชื้น อัตราการบ่มของซีเมนต์เพสต์ การใช้พลังงานทั้งหมด จำนวนซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสม และการทดสอบซีเมนต์เพสต์หลังการบ่มเพื่อหาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล เช่น โครงสร้างภายในและความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์หลังการบ่มในระบบสุญญากาศ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาคือ ความดันสุญญากาศ ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่บรรจุในภาชนะ และอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ภาชนะที่ใช้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาด 480 × 720 มิลลิเมตร (mm) และมีลักษณะการเกิดคลื่นแบบหลายโหมด (Multi-Mode) จำนวนแมกนีตรอน 2 ตัว กำลังงานที่ป้อนเข้า 2 × 800 วัตต์ (W) ความถี่ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ซีเมนต์เพสต์ และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาสรุปหาวิธีในการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่ดีที่สุด

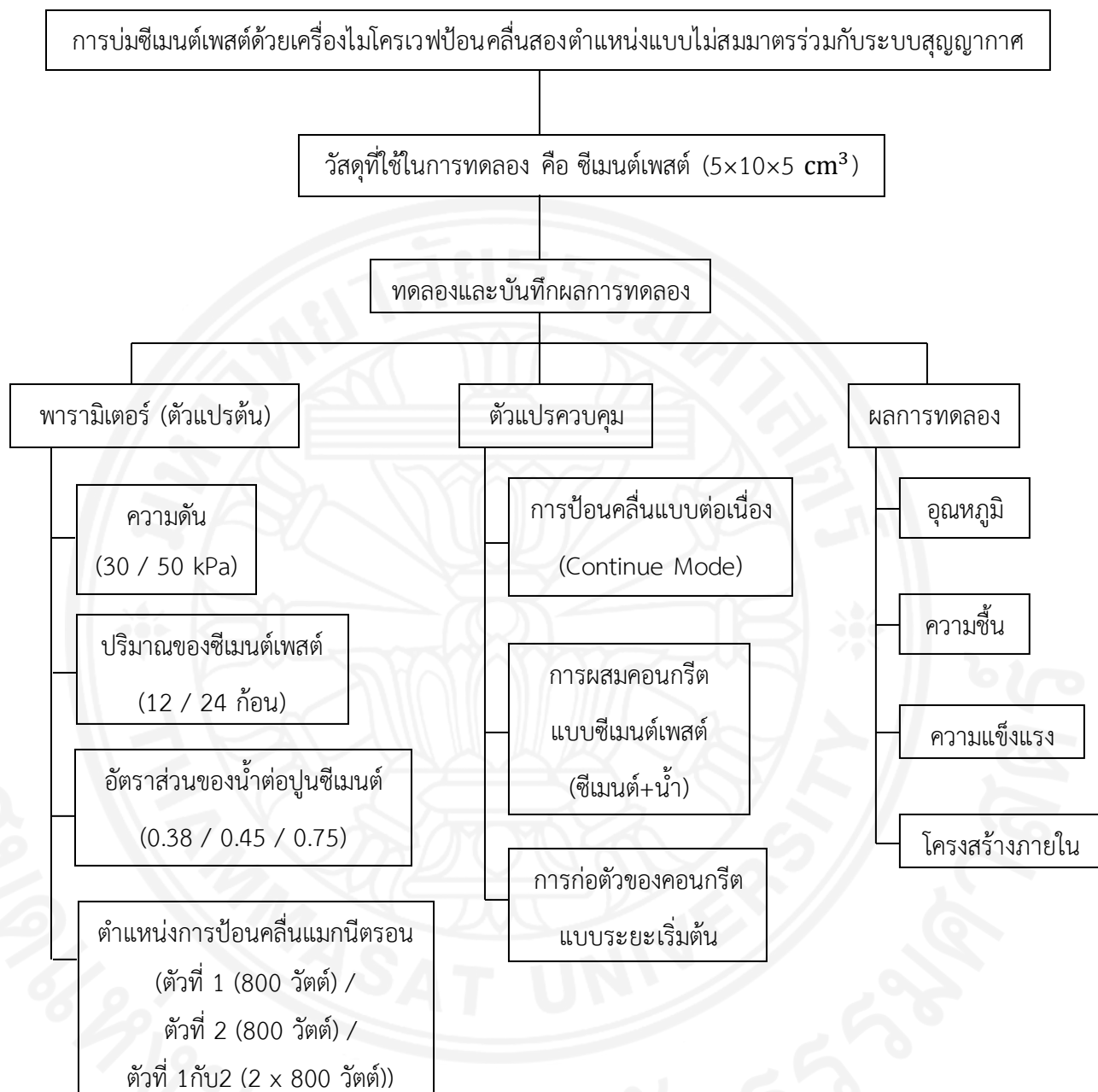
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในเชิงความรู้พื้นฐานของการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งสามารถแยกเป็นข้อย่อยได้ดังนี้

1. สามารถทำความเข้าใจถึงอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับซีเมนต์เพสต์ได้อย่างชัดเจน
2. สามารถนำเอาแนวทางที่ได้ไปใช้ในการออกแบบระบบไมโครเวฟให้แหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการบ่มซีเมนต์เพสต์
3. สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิจากความชื้น และคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตในกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ โดยวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ การถ่ายเทความร้อนในซีเมนต์เพสต์ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ รวมถึงพลังงานที่ใช้ทั้งหมด โดยมีอิทธิพลของความดันสุญญากาศ ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่บรรจุในภาชนะ ตำแหน่งแมกนีตรอน และอัตราส่วนของน้ำต่อคอนกรีต ซึ่งจะทำการทดลองเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมที่สุด ตามลำดับ อีกทั้งยังทำการตรวจสอบโครงสร้างและทดสอบความแข็งแรง ในทุกขั้นตอนการทดลอง ซึ่งความรู้ที่ได้จะเพิ่มองค์ความรู้ความเข้าใจถึงพื้นฐานในกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ถ้าหากเข้าใจถึงหลักการก็จะสามารถขยายขนาดของเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป ซึ่งรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยแสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 รายละเอียดของระเบียบวิธีวิจัย

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	2558														
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.			
1.	ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	—————→														
2.	ศึกษาเนื้อหา งานวิจัย/ทดลองเก็บข้อมูลเบื้องต้น		—————→			—————→										
3.	จัดทำรูปเล่มเพื่อเตรียมสอบหัวข้อ			—————→												
4.	เริ่มทำการทดลองตามแผนการที่กำหนด						—————→					—————→				
5.	จัดทำรูปเล่มเพื่อเตรียมสอบความก้าวหน้า						—————→		—————→							
6.	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์						—————→									
7.	สอบป้องกันวิทยานิพนธ์											—————→	—————→			

แผนการดำเนินงาน —————→

ปฏิบัติจริง - - - - -→

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งวัสดุพืชนด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ พลังงานไมโครเวฟ การบ่มคอนกรีต หรือกรรมวิธีที่ทันสมัยมากขึ้นสำหรับการบ่มคอนกรีตในช่วง 10-20 ปีที่ผ่านมา เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบ่มคอนกรีตทั้งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลอง ซึ่งจะแสดงตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

A. E. Drouzas and H. Schubert (1996) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ โดยนำไมโครเวฟทั่ว ๆ ไปมาดัดแปลง ด้วยการใส่ Vacuum-Pump, Thermo-Sensors และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผล ชุดการทดลองไมโครเวฟนี้ให้กำลังงาน 280 W การจ่ายแมกนีตรอนแบบเป็นจังหวะ คือ จ่าย 10 วินาที หยุดจ่าย 20 วินาที ที่ความดัน 30 mbar และตั้งค่าอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า 1.การอบแห้งอาหาร พืชผัก และผลไม้ ควรทำการอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ 2.ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง คือ กำลังพลังงานที่ใส่เข้าไป และ ความดันอากาศ 3. การอบแห้ง อาหาร พืชผัก และผลไม้ ไม่สามารถอบที่อุณหภูมิสูงได้เนื่องจากจะเสียคุณค่าทางอาหาร และเกิดอาการหดตัวได้

A.E. Drouzas, E. Tsami and G.D. Saravacos (1999) ได้ศึกษาอิทธิพลของการกระจายตัวของแมกนีตรอนในควาวิตที่มีผลต่อเจลผลไม้ ด้วยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ โดยการทดลองนี้ได้กำหนดให้ กำลัง 700W และ 800W ที่ความดัน 40 mbar โดยเริ่มอบจาก ความชื้น 38.4% จนน้อยกว่า 3 % ใช้เวลา 4 นาที โดยมีการจัดวางเป็นวงกลม 5 ตำแหน่ง เพื่อสังเกตการณ์กระจายตัวของแมกนีตรอน และนำไปเปรียบเทียบกับการอบด้วยลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ จนเหลือความชื้นประมาณ 10% ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง จากการทดลองสรุปได้ว่า 1. การอบแห้งด้วยลมร้อนจะทำให้โครงสร้างของเจลผลไม้เกิดการหดตัวและเสียรูปซึ่งไม่เกิดกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ 2. การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ ตำแหน่งที่ได้รับคลื่นแมกนีตรอนมากกว่าจะแห้งได้เร็วกว่า 3. กำลังและความดันที่ใช้มีผลต่อการอบแห้ง ยิ่งความดันต่ำและกำลังวัตต์สูงจะแห้งได้เร็วกว่าความดันสูงและกำลังวัตต์ต่ำ

N. Suwannapum and P. Rattanadecho et al. (2008) ได้ศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โครงสร้างภายในตัวเครื่องประกอบด้วยแมกนีตรอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) ขนาดกำลัง 800 วัตต์ (W) จำนวน 14 ตัว ติดตั้งไว้โดยรอบผนังอุโมงค์ และเครื่องไมโครเวฟนำ

คลื่นแบบสี่เหลี่ยม โครงสร้างภายในตัวเครื่องประกอบด้วยแมกนีตรอนที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ปรับกำลังวัตต์ได้ 0-1.5 กิโลวัตต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาทั้งการสำรวจเชิงทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลข จากนั้นวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มคอนกรีต ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยน้ำและอากาศ หลังจากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างภายในของคอนกรีตจากผลการทดลองสรุปได้ว่า พลังงานไมโครเวฟมีผลต่อความสามารถในการผลิตปริมาณความร้อน การลดปริมาณความชื้น และการดูดซับพลังงานในคอนกรีต กล่าวคือพลังงานป้อนเข้ามากส่งผลให้เกิดการผลิตปริมาณความร้อนได้มากขึ้น ลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้นและมีปริมาณการดูดซับพลังงานได้มากขึ้น

N. Makul, B. Chatveera and P. Ratanadecho (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานไมโครเวฟว่าเป็นพลังงานที่นิยมในการนำมาให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกและสิ่งหนึ่งที่นิยมกันมากก็คือการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟเพราะว่าไมโครเวฟจะป้อนความร้อนอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นแนวทางที่ดีในการแก้ไขอัตราการพัฒนาอย่างแข็งแกร่ง โดยในงานวิจัยนี้จะรวบรวมประวัติการพัฒนาการต่าง ๆ เกี่ยวกับพลังงานไมโครเวฟซึ่งในส่วนแรกจะบรรยายถึงความจำเป็นในการใช้ไมโครเวฟมาบ่มคอนกรีตเพื่อรักษาความแข็งแรงของคอนกรีตในช่วงต้นและกล่าวถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อของไมโครเวฟรวมทั้งเกณฑ์การรักษาแล้วก็ข้อเสียของวิธีการรักษาที่เคยเร่งอัตราของปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตโดยรวมทั้งหมด ส่วนที่สองได้เสนอวิธีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ครอบคลุมคุณสมบัติไดอิเล็กตริกซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการให้ความร้อน และส่วนสุดท้ายสำหรับงานวิจัยนี้คือต้องการให้องค์ความรู้เกี่ยวกับไมโครเวฟมีส่วนช่วยต่อการศึกษาในอนาคตเพื่อลดระยะเวลาที่มีมากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกและคุณสมบัติทางความร้อน

Adam Figiel (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งและคุณภาพของปืทุที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการพาความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและการผสมผสานระหว่างการพาความร้อนก่อนอบแห้ง (CPD) จนกระทั่งค่าความชื้นมีค่า 1.6, 0.6 หรือ 0.27 kg/kg db กับการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ (VMFD) ที่กำลัง 240, 360 หรือ 480 วัตต์ ซึ่งการควบคุมตัวอย่างที่ได้โดยการทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze Dry) จลนศาสตร์การอบแห้งของปืทุถูกเขียนขึ้นด้วยฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล การอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศสามารถลดเวลารวมทั้งหมดของการอบแห้งและลดการหดตัวจากการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพาความร้อนซึ่งจากการทดลองพบว่าการอบด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศรักษาสภาพของชิ้นงานได้ดีพอ ๆ กับการทำแห้งเยือกแข็ง ซึ่งมีแรงอัดที่ต่ำกว่า ศักยภาพที่ดีกว่าและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่คงอยู่สูงกว่าการทำด้วยวิธีอื่น ซึ่งการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟและการลดระยะเวลาของการอบแห้งเพื่อให้ปืทุยังมีคุณภาพจะถูกปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ

N. Makul and P. Rattanadecho et al. (2010) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟโดยใช้แมกนีตรอนอุตสาหกรรมซึ่งมีกำลัง 6.0 kW ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz คาวิตี้ที่ใช้เป็นตู้ไมโครเวฟแบบหลายโหมด (Multi-Mode) โดยทำการเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์และจากผลการทดลองพบว่าการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟนั้นทำให้โครงสร้างภายในมีการพัฒนาความแข็งที่ช่วงอายุเริ่มต้นได้ดี ในขณะที่อุณหภูมิคอนกรีตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีอุณหภูมิสูงกว่าข้อมูลจากการทดลองอยู่ค่อนข้างมาก

K. Jeni, M. Yapa and P. Rattanadecho (2010) งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องไมโครเวฟกำลังต่ำร่วมกับระบบสุญญากาศ โดยมีแมกนีตรอน 2 ตัว ตัวละ 800W การจ่ายคลื่นสามารถจ่ายได้ทั้งแบบต่อเนื่องและเป็นจังหวะ โดยขึ้นงานที่นำมาทดลองอบ คือ ใบชา โดยอบที่กำลัง 1600W, 800W ที่ความดัน 385 torr และ 535 torr การอบ อบทั้งแบบต่อเนื่องและแบบเป็นจังหวะ โดยศึกษาถึงความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ในกรณีต่าง ๆ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า พลังงานไมโครเวฟที่ป้อนเข้าไปมีผลต่อความสามารถในการผลิตปริมาณความร้อนและการลดปริมาณความชื้นในใบชา ซึ่งก็คือพลังงานป้อนเข้าไปมากส่งผลให้เกิดการผลิตปริมาณความร้อนได้มากขึ้นและลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้น ในด้านของความดันสุญญากาศนั้นมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในใบชา ซึ่งก็คือความดันต่ำจะส่งผลให้ลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้น ส่วนลักษณะทางกายภาพของใบชาที่ผ่านการอบแห้งที่มีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะจะได้ใบชาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับใบชาก่อนอบแห้งมากกว่าการป้อนคลื่นเป็นต่อเนื่อง ดังนั้นที่ความดัน 385 torr ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดและคุณภาพโดยรวมดีที่สุด

N. Makul and P. Rattanadecho et al. (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบ่มวัสดุซีเมนต์ด้วยการใช้พลังงานไมโครเวฟในการให้ความร้อนเพื่อศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์และคุณสมบัติเชิงกล โดยเริ่มจากการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ค่าความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ของวัสดุซีเมนต์ในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการไฮเดรชัน ขั้นตอนต่อไปนำซีเมนต์เพสต์ไปให้ความร้อนในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยใช้เครื่องไมโครเวฟนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมโหมดเดียว (A Single-Mode Rectangular Wave Guide) เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความต้านทานแรงดัน ผลการทดลองที่ได้คือคุณสมบัติไดอิเล็กตริกค่อนข้างสูงและคงที่ในช่วงระยะเวลาแรก หลังจากระยะเวลาสั้นๆ ปฏิบัติไฮเดรชันกลับมาใหม่และคุณสมบัติไดอิเล็กตริกลดลงอย่างรวดเร็ว ความแข็งแรงช่วงต้นของซีเมนต์เพสต์เพิ่มสูงขึ้นระหว่าง 14 วันแรกหลังจากใช้พลังงานไมโครเวฟ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านจาก 14 วันแล้วความแข็งแรงช่วงต้นของซีเมนต์เพสต์กลับลดลง จนกระทั่งถึงค่าที่ต่ำที่สุดใน 28 วัน ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ได้นั้นก็วัดจากส่วนกลางของซีเมนต์เพสต์ในระหว่างทำการทดลองด้วยพลังงานไมโครเวฟมีการเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอัตราที่สูงระหว่างการให้ความร้อนในช่วงแรกคือในช่วงนาทีแรกแล้วก็ลดลงอย่าง

รวดเร็วหลังจากหนึ่งนาที่ผ่านไปจากนั้นนำค่าที่ได้นำมาคำนวณโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในภายหลัง

Angel A. Carbonell-Barrachina et al. (2011) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของระดับความดันสุญญากาศและค่าพลังงานไมโครเวฟที่ส่งผลต่อสารให้ความหอมและคุณภาพของโรสแมรี่ หลังจากทำการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟระบบสุญญากาศ จลนศาสตร์ของการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟระบบสุญญากาศประกอบด้วยสองช่วงคือ Linear และ Exponential ช่วงเวลาที่ใช้ในการอบโรสแมรี่สำหรับค่าของพลังงานไมโครเวฟที่สูงและความดันสุญญากาศในสูงนั้นใช้เวลา น้อยลง สารระเหยจากโรสแมรี่ถูกสกัดโดยการต้มเพื่อกลั่นเป็นไอน้ำและวิเคราะห์โดย GC-MS สารประกอบสามสิบเอ็ดถูกระบุด้วย α -pinene, Verbenone และ 1,8-cineole เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ Monoterpenoids เป็นสารเคมีที่โดดเด่น ปริมาณรวมของสารระเหยโรสแมรี่สด (27.2 g kg^{-1}) ที่ลดลงระหว่างการอบแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 14.8 g kg^{-1} จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ในเงื่อนไขขอบเขตที่ต่ำสุดของการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟระบบสุญญากาศ (ระดับความดันสุญญากาศต่ำและพลังงานไมโครเวฟต่ำ) เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดที่จะได้ความเข้มข้นของสารระเหยที่สูงที่สุดและคุณภาพของโรสแมรี่หลังจากทำการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่ดีที่สุด คือที่ความดันสุญญากาศ 72-74 กิโลปาสคาล และค่าพลังงานไมโครเวฟ 360 วัตต์

W. Jindarat, S. Sungsoontorn and P. Rattanadecho (2013) ได้ศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ ในกรณีศึกษาจากใบชา โดยที่ใบชาจะถูกอบแห้งจากค่าความชื้นเริ่มต้นที่ 172 ถึง 7% (db) รูปแบบการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ที่ได้พัฒนามาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งอิทธิพลของการใช้พลังงานไมโครเวฟ, ความดันสุญญากาศ และโหมดการทำงานไมโครเวฟในการใช้พลังงานได้ศึกษาอยู่ในงานวิจัยนี้ จากการทดลองได้ข้อสรุปว่าการใช้พลังงานรวมทั้งการประหยัดพลังงานขึ้นอยู่กับความดันสุญญากาศและพลังงานไมโครเวฟที่ใช้ ซึ่งค่าการใช้พลังงานและสีของใบชาจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันด้วยเงื่อนไขการอบแห้งที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการทดลองนี้ได้ใช้ค่าพลังงานไมโครเวฟที่แตกต่างกัน (800 และ 1,600 วัตต์) ที่ค่าความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) และค่าความดันสุญญากาศ (535 และ 385 Torr) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองในการใช้พลังงาน

Manish Dak and N.K. Pareek (2014) ได้ศึกษาเรื่องการอบแห้งเนื้อทับทิมด้วยการใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศโดยป้อนพลังงานไมโครเวฟที่ 25 ถึง 95 วัตต์ (W) ค่าความดันสุญญากาศที่ใช้ 25 ถึง 195 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) และมวลของตัวอย่างอยู่ที่ 65 ถึง

235 กรัม (g) โดยมีค่าการแพร่กระจายความชื้นเริ่มจาก 5.18×10^{-11} ถึง 6.58×10^{-10} ตารางเมตร ต่อวินาที (m^2/s) จากผลการทดลองพบว่าค่าการแพร่กระจายความชื้นนี้จะเพิ่มขึ้นต่อเมื่อพลังงานไมโครเวฟเพิ่มขึ้น หรือ มวลของตัวอย่างลดลง โดยที่ค่าของตัวแปรอื่น ๆ คงที่ ในขณะที่ค่าความดันสุญญากาศมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟให้สูงขึ้น ใช้ความดันสุญญากาศที่ต่ำลง และลดปริมาณหรือขนาดของตัวอย่างที่ใช้ทดลอง จะมีส่วนช่วยในการเพิ่มแรงผลักดันการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร



บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน ซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นในทฤษฎีไมโครเวฟ การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนรวมถึงความรู้เกี่ยวกับซีเมนต์เพสต์ รวมทั้งรายละเอียดของเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูน

ทฤษฎีเกี่ยวกับกลไกของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารภายในวัสดุพูน รวมถึงความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกและปรากฏการณ์พื้นฐานนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนโดยใช้กรรมวิธีการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟต่อไป

3.1.1 กระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูน

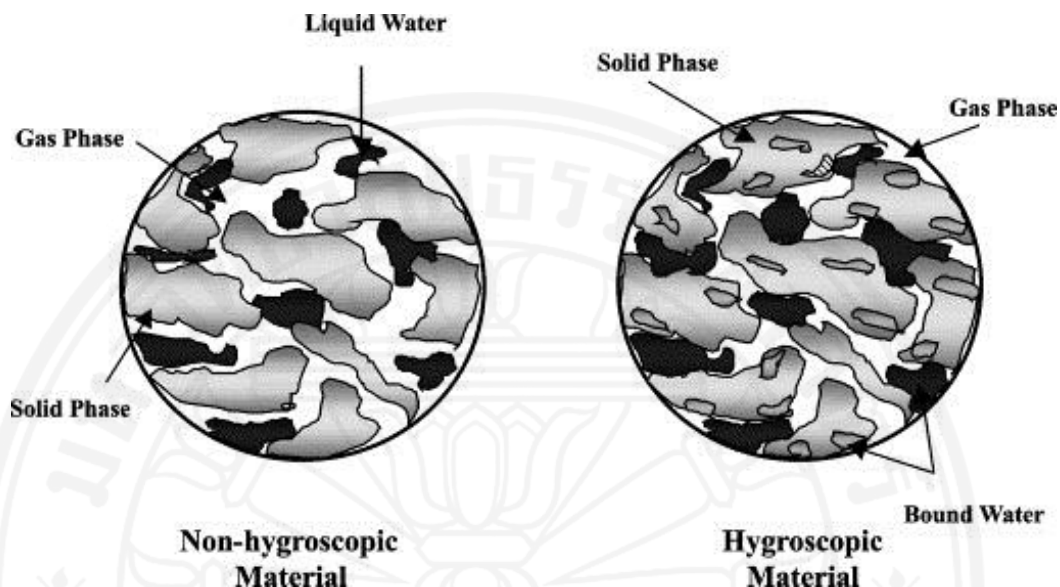
เพื่อให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการอบแห้ง การวิเคราะห์ในเชิงลึกของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารที่เกิดขึ้นในวัสดุพูนในระหว่างกระบวนการอบแห้งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญก่อนที่จะไปออกแบบระบบที่ใช้ในงานในทางปฏิบัติ กระบวนการอบแห้งวัสดุจะคาบเกี่ยวกับกระบวนการเบื้องต้นที่เกิดขึ้นพร้อมกันสองกระบวนการ นั่นก็คือ

1. กระบวนการถ่ายเทความร้อนเป็นกระบวนการที่ถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปยังเนื้อวัสดุ เพื่อทำการเคลื่อนย้ายความชื้นและระเหย ความชื้นที่มีอยู่
2. กระบวนการถ่ายเทมวลสารเป็นการขับเคลื่อนของไหลภายในเนื้อวัสดุหรือที่ผิววัสดุ

3.1.2 รูปแบบโครงสร้างของวัสดุพูน

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานในทางวิศวกรรมจัดเป็นวัสดุพูน กล่าวคือตัววัสดุประกอบด้วย 3 สถานะ คือ สถานะของแข็ง (Solid Phase) ของเหลว (Liquid Phase) และก๊าซ (Gas Phase) ที่อยู่ในช่องว่างหรือรูพูน (Pores) เป็นที่ทราบกันดีว่าในทางวิศวกรรมแล้ว วัสดุส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุพูน ยกตัวอย่างเช่น ดินในงานวิศวกรรมปฐพี คอนกรีตในงานวิศวกรรมโยธา เซรามิกในงานวิศวกรรมวัสดุ ตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิศวกรรมเคมี ฉนวนความร้อนในงานวิศวกรรมเครื่องกลและเคมี

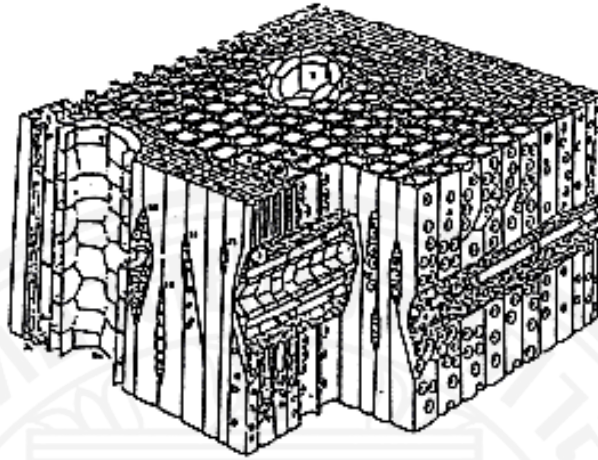
เนื้อเยื่อต่าง ๆ ผิวหนัง หรือแผ่นเยื่อในงานวิศวกรรมชีวภาพและการแพทย์ รวมไปถึงอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในงานวิศวกรรมเกษตร



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของวัสดุพอร์นแบบไม่ชื้นมากและวัสดุพอร์นแบบชื้นมาก

[R. Yamsaengsung , R.G. Moreira ,2002]

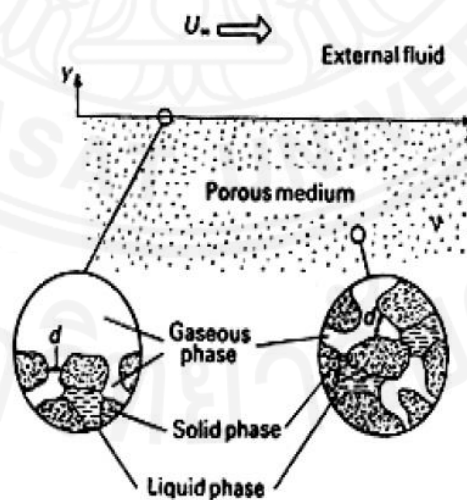
วัสดุพอร์นสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิดใหญ่ ๆ ชนิดแรกของไหลหรือความชื้นจะเคลื่อนตัวอยู่ที่บริเวณรอบนอกอนุภาคของแข็ง (Solid Matrices) ซึ่งผิวรอบนอกนี้ฟอร์มตัวเป็นลักษณะโพรงช่องว่าง (Pores) ภายในวัสดุ โดยไม่มีการส่งผ่านหรือดูดกลืนเข้าไปในชั้นผิวอนุภาคของแข็ง เราเรียกวัสดุพอร์นชนิดนี้ว่า วัสดุพอร์นแบบไม่ชื้นมาก (Non-Hygroscopic Porous Media) หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าวัสดุพอร์นแบบคาพิลลารี (Capillary Porous Media) หากพิจารณาโครงสร้างวัสดุพอร์นชนิดนี้ พบว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งหรือรูพอร์นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นอิทธิพลของความดันไอภายในช่องว่างจะมีความสำคัญน้อย ส่วนวัสดุพอร์นชนิดที่สอง ความชื้นจะถูกยึดตรึงอยู่กับโครงสร้างของอนุภาคของแข็งภายใต้พันธะทางเคมีและฟิสิกส์ ซึ่งเป็นพันธะสำคัญในการหน่วงให้ความชื้นคงอยู่ในโครงสร้างทำให้การเคลื่อนตัวของความชื้นออกมาภายนอกทำได้ยาก กรณีนี้ความดันไอภายในมีความสำคัญมาก เนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งมีขนาดเล็กมาก เราจึงเรียกวัสดุพอร์นชนิดนี้ว่า วัสดุพอร์นแบบชื้นมาก (Hygroscopic Porous Media) ซึ่งกรณีนี้จะรวมถึงวัสดุพอร์นอื่นบางชนิด เช่น วัสดุชีวภาพที่ไม่สามารถแบ่งแยกลักษณะโครงสร้างได้ชัดเจน เนื่องจากเนื้อวัสดุมีโครงสร้างซับซ้อน เช่น เนื้อไม้ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ซึ่งการเคลื่อนที่ของความชื้นไม่มีเสถียรภาพทำให้การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีมีความซับซ้อนกว่าในกรณีแรก



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างวัสดุพอรุนแบบเซลล์ูลาร์-คาพิลลารี (Cellular Capillary)

3.1.3 การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างกระบวนการอบแห้งในวัสดุพอรุน

การอบแห้งวัสดุพอรุนเป็นกระบวนการแยกกระบวนการหนึ่งในระบบที่มีของแข็งและของเหลวปนอยู่ร่วมกัน องค์ประกอบภายในวัสดุพอรุนที่มีความชื้น ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid Phase) ของเหลว (Liquid Phase) และก๊าซ (Gas Phase) ซึ่งอาจจะเป็นอากาศหรือไอ (Vapor) หรือเป็นของผสมระหว่างอากาศกับไอ



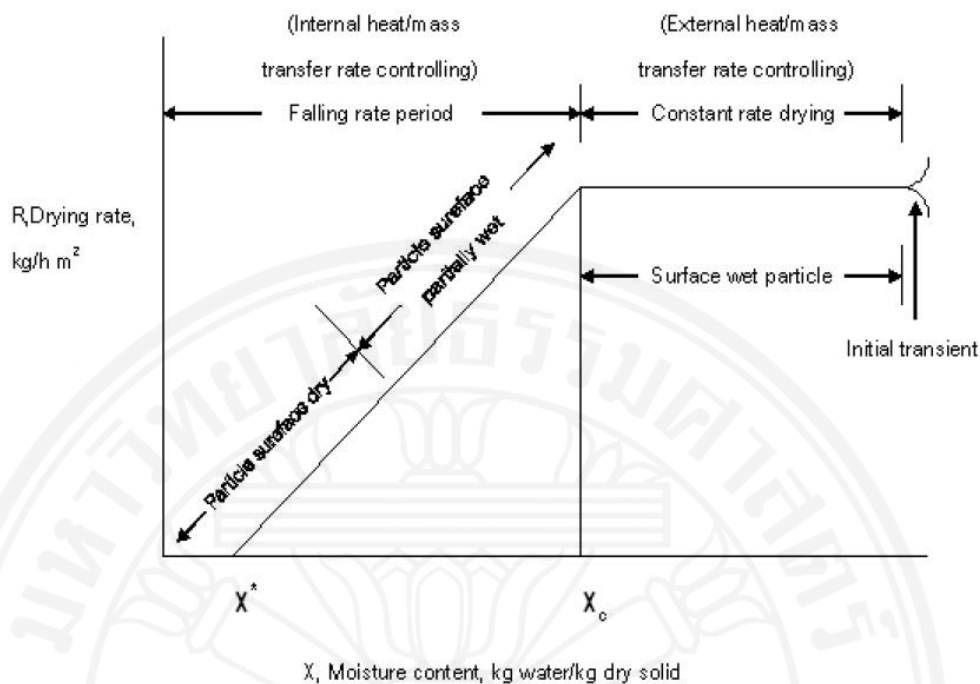
ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมของกระบวนการอบแห้งวัสดุพอรุน

(ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008))

จากภาพที่ 3.3 เมื่อวัสดุพูนเปียกขึ้นผ่านกระบวนการอบแห้งภายใต้สภาวะภายนอกคงที่กล่าวคือ อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วอากาศถูกรักษาให้คงที่ตลอดการอบแห้ง องค์ประกอบที่เป็นของไหล (Fluid Phase) อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะอยู่ตลอดเวลาและการเคลื่อนตัวของความชื้นจากภายในสู่ผิวนอกภายใต้อิทธิพลของกลไกต่าง ๆ จะปรากฏขึ้น โดยกลไกสำคัญที่ควบคุมการเคลื่อนตัวของความชื้น สรุปได้ดังนี้

1. แรงดันคาพิลลารี (Capillary Force)
2. การแพร่กระจายตัวของไอ (Vapor Diffusion) เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นสสาร
3. การเปลี่ยนสถานะของสสาร กล่าวคือมีการระเหยและการกลั่นตัว (Evaporation-Condensation mechanism) ภายในรูพรุน
4. การแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุ (Surface diffusion)
5. การเคลื่อนตัวของความชื้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (Total Pressure)
6. การเคลื่อนตัวของความชื้นเนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง (Gravity force)
7. การเคลื่อนตัวของความชื้นเนื่องจากการแพร่กระจายเชิงอุณหภูมิ (Thermo-Diffusion)

โดยทั่วไปกลไกที่กล่าวมาข้างต้น มีความสำคัญต่อกระบวนการอบแห้งวัสดุพูนที่คาบเวลาต่างกัน ซึ่งไม่สามารถแยกกลไกแต่ละชนิดออกจากกันได้เนื่องจากความซับซ้อนของตัวกระบวนการ ทำให้เพียงพิจารณาเฉพาะกลไกหลักที่สำคัญกว่าเท่านั้น การพิจารณาว่ากลไกใดมีความสำคัญต่อกระบวนการอบแห้งนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของวัสดุ รวมไปถึงวิธีการให้พลังงานเข้าไปในวัสดุ



ภาพที่ 3.4 คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทมวลสาร (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008))

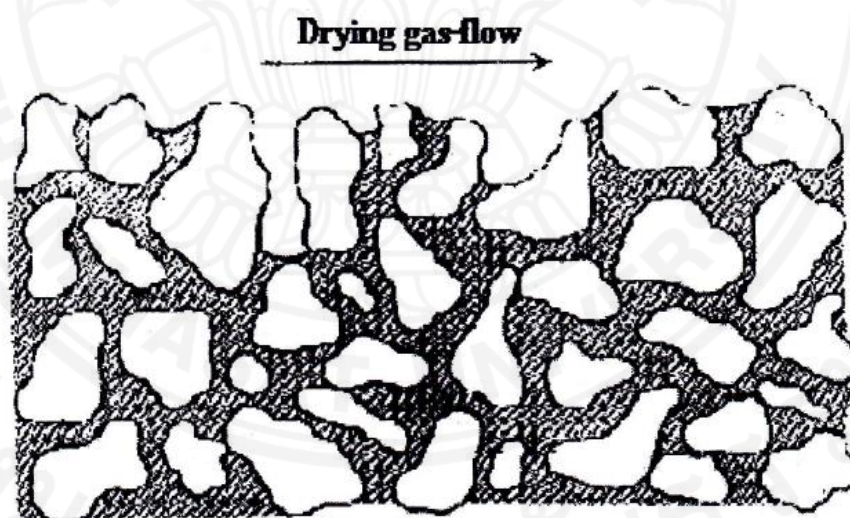
จากภาพที่ 3.4 กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นสองคาบเวลาใหญ่ ๆ คือ คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) อัตราการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำ(ของเหลว) ภายในวัสดุพรมที่เติมเต็มผิวหน้า ช่วงปลายของคาบเวลานี้ความชื้นภายในวัสดุเข้าใกล้ค่าความชื้นวิกฤติ (Critical Moisture Content, x_c) โดยค่าความชื้นวิกฤติขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างและการเกาะตัวของความชื้นในวัสดุ เมื่อความชื้นในวัสดุมีค่าน้อยกว่าค่าความชื้นวิกฤติ กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) โดยปกติคาบเวลานี้กินระยะเวลามากกว่าคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่เมื่ออัตราการอบแห้งมีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์จะมีความชื้นคงเหลืออยู่ค่าหนึ่ง (มีค่าน้อยมาก) ภายใต้สภาวะการอบแห้ง ค่าความชื้นนี้เราเรียกว่าค่าความชื้นสมดุล(Equilibrium Moisture Content) อย่างไรก็ตามจุดสำคัญในภาพที่ 3.4 สามารถอธิบายได้เป็นข้อย่อย ๆ ดังนี้

1. คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) โดยปกติเมื่อวัสดุมีความชื้นสูงมาก ๆ อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอิทธิพลภายนอกซึ่งมีผลต่อวัสดุที่นำมาอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของก๊าซ ความดันรวม และความดันย่อยของไอน้ำ หากอิทธิพลภายนอกถูกควบคุมให้คงที่ อัตราการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในวัสดุพรมที่เติมเต็มของผิวหน้าทำให้มีฟิล์มของเหลวปกคลุมที่ผิวหน้าวัสดุตลอดเวลา ตัวแปรที่ควบคุม

กระบวนการอบแห้งในคาบเวลานี้ คือ พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับตัววัสดุหรือการถ่ายเทมวลสารออกจากวัสดุ

การถ่ายเทมวลสารในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุ (Surface Diffusion) เป็นหลัก เป็นที่ทราบกันดีว่าหากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำซึ่งถ่ายเทมาจากลมร้อน อุณหภูมิผิวหน้าของวัสดุสามารถประมาณได้ด้วยอุณหภูมิกะเปาะเปียกการคำนวณอัตราการอบแห้งในคาบเวลานี้สามารถทำได้ง่าย โดยปกติการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Force Convection) จะใช้คาบเวลาดังกล่าวในการวิเคราะห์

2. คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เมื่อกระบวนการการอบแห้งดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (ค่าความชื้นวิกฤตินี้ขึ้นกับความสามารถในการเคลื่อนตัวของความชื้นภายในโครงสร้างวัสดุเป็นสำคัญ) ความชื้นในวัสดุที่เคลื่อนตัวไปยังผิวหน้าภายใต้อิทธิพลการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุเริ่มมีไม่เพียงพอต่อปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไป ทำให้ฟิล์มของเหลวที่บริเวณผิวหน้าวัสดุเกิดการแยกตัวและเกิดชั้นความแห้งในบางจุด ดังแสดงในภาพที่ 3.5

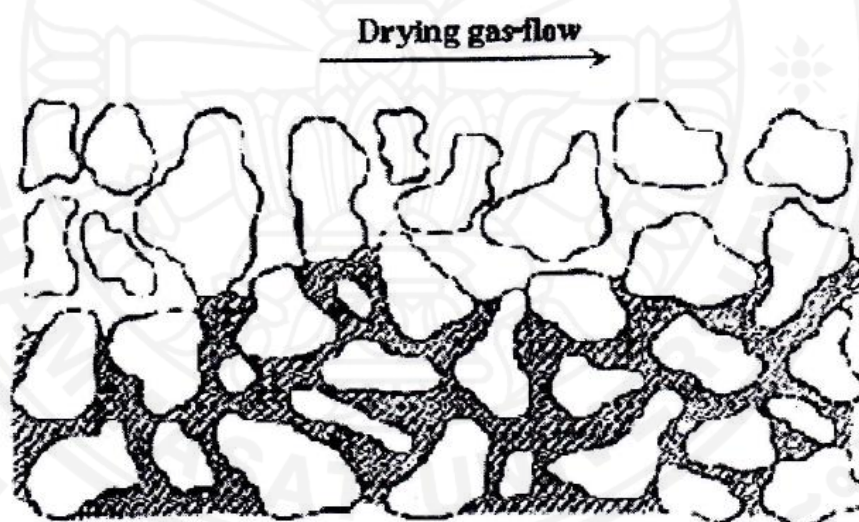


ภาพที่ 3.5 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First Falling Rate Period) (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008))

หลังจากกระบวนการอบแห้งเข้าสู่ค่าความชื้นวิกฤติ กระบวนการอบแห้งก็เข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงอย่างสมบูรณ์ ในช่วงต้นของในคาบเวลานี้อัตราการอบแห้งโดยรวมเริ่มลดลง บางครั้งเรียกช่วงเวลานี้ว่าคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First Falling Rate Period) เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปจนชั้นของความแห้งก่อตัวขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่ผิวของวัสดุ

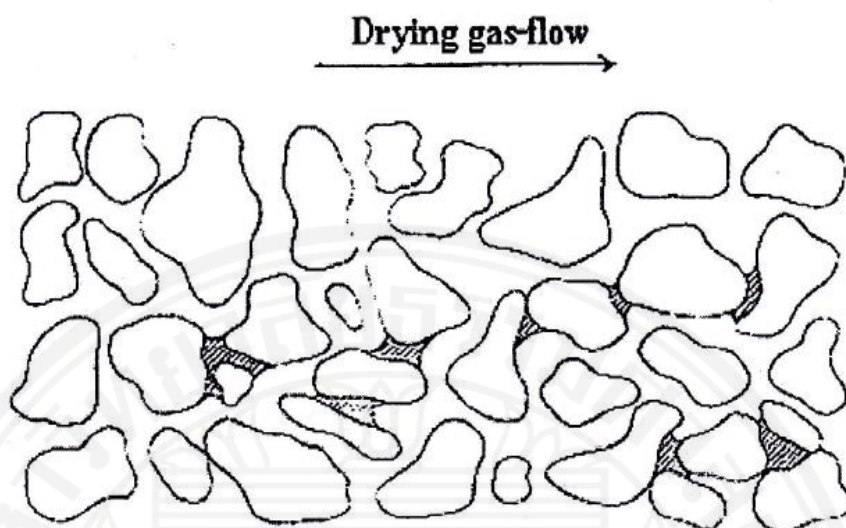
และเคลื่อนตัวเข้าสู่เนื้อวัสดุดังแสดงในภาพที่ 3.6 ช่วงนี้เรียกว่าคาบเวลาที่อัตราการลดลงระยะที่สอง (Second Falling Rate Period) การระเหยความชื้นในช่วงนี้เกิดขึ้นที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างชั้นวัสดุแห้ง (ความชื้นในบริเวณนี้ระเหยออกหมด) กับชั้นวัสดุเปียก (เนื้อวัสดุบริเวณที่ยังมีความชื้นอยู่) ซึ่งเรียกว่าผิวการระเหย (Evaporation Front) หรือผิวการอบแห้ง (Drying Front) หรือขอบเขตของการเคลื่อนที่ (Moving Boundary) โดยที่ผิวการระเหยจะเคลื่อนที่ตลอดคาบเวลาของการอบแห้ง การระเหยตัวของความชื้นที่ผิวของการระเหย ณ ตำแหน่งต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากกฎของเคลวิน (Kelvin's Law)

ในคาบเวลานี้อัตราการเคลื่อนตัวของมวลสารหรือความชื้นภายในเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมกระบวนการ คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงนี้อาจสังเกตได้จากการลดลงอย่างรวดเร็วของอัตราการถ่ายเทมวลสารและความดันที่ผิววัสดุอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติคาบเวลานี้สังเกตได้ยากจากการทดลองเนื่องจากความซับซ้อนของปรากฏการณ์



ภาพที่ 3.6 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง (Second Falling Rate Period) (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008))

ช่วงปลายของคาบเวลาอัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สองสังเกตได้ว่าความชื้นภายในวัสดุเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยและกระจายตัวในช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ช่วงสุดท้ายของกระบวนการนี้ อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้ความชื้นที่เหลืออยู่เรียกว่าค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content)



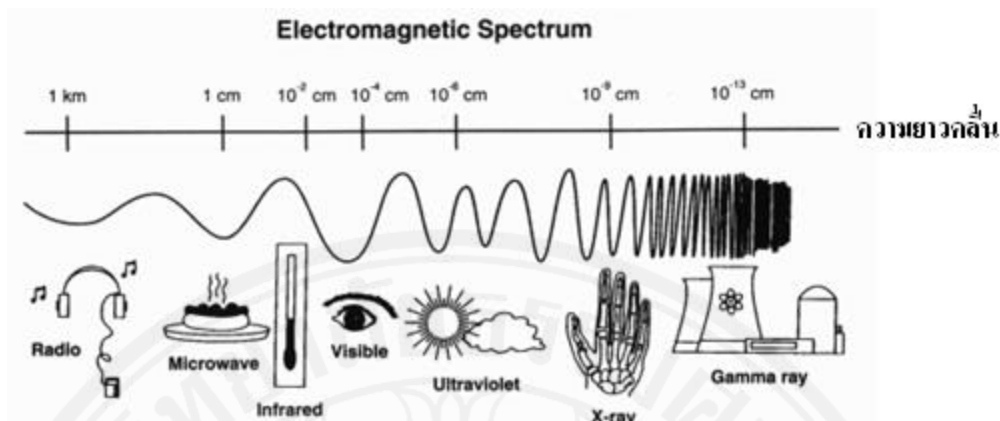
ภาพที่ 3.7 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย (End Stage of Drying)
(ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008))

3.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาพฤติกรรมของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทำความร้อน กระบวนการอบแห้ง กระบวนการฆ่าเชื้อ เป็นต้น เนื่องจากเป็นหัวใจหลักของงานวิจัย ถ้าทำการวิจัยโดยขาดความรู้พื้นฐาน งานวิจัยดังกล่าวจะขาดความน่าเชื่อถือความรู้พื้นฐานเชิงทฤษฎีทางด้านไมโครเวฟมีความจำเป็นในงานวิจัยนี้

3.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครเวฟ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นของไมโครเวฟ (0.3 – 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 30 cm – 0.3 mm) มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนในอุตสาหกรรม การให้ความร้อนแก่วัตถุด้วยไมโครเวฟเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและไม่เหมือนวิธีการให้ความร้อนแบบเก่าที่ให้ความร้อนจากภายนอกผ่านผิววัตถุรังสีไมโครเวฟมีความลึกในการทะลุทะลวงเท่ากับ 2 cm ในระหว่างที่รังสีไมโครเวฟผ่านเข้าไปในน้ำ ซึ่งในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้นดีกว่าการให้ความร้อนแบบเก่า คือการใช้อากาศร้อนหรือน้ำ ซึ่งจะมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของการกระจายอุณหภูมิและความชื้นภายในผลิตภัณฑ์นั้น



ภาพที่ 3.8 สเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ

พลังงานควอนตัมของคลื่นไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 0.00001 ถึง 0.001 eV ซึ่งเป็นช่วงของพลังงานที่แยกระดับควอนตัม (Quantum State) ของการหมุน (Rotation) กับการบิด (Torsion) ของโมเลกุล ปฏิกริยาของไมโครเวฟกับวัตถุที่ไม่ใช่โลหะที่เป็นตัวนำ จะเป็นการทำให้โมเลกุลเกิดการหมุนและทำให้เกิดความร้อนจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุล สำหรับวัตถุที่เป็นตัวนำ (Conductor) จะดูดกลืนไมโครเวฟและคลื่นชนิดอื่นที่มีความถี่ต่ำกว่า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและทำให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุ วัสดุส่วนใหญ่รวมทั้งร่างกายของคนเรา ค่อนข้างโปร่งใสต่อไมโครเวฟ ทำให้ไมโครเวฟความเข้มสูงดังเช่นในเตาอบไมโครเวฟ จึงเกิดการสะท้อนไปมาผ่านชิ้นของอาหารนับล้านครั้งอยู่ภายในเตาอบ และทำให้เกิดความร้อนภายในวัตถุจากการทำให้โมเลกุลเกิดการบิดและการหมุน เนื่องจากพลังงานควอนตัมของไมโครเวฟต่ำกว่ารังสีเอกซ์ประมาณ 1 ล้านเท่า จึงไม่สามารถทำให้เกิดการไอออไนซ์ (Ionization) หรือเกิดผลของรังสีแบบเดียวกับรังสีที่ทำให้เกิดการไอออไนซ์ (Ionizing Radiation) ได้

3.2.2 ข้อดีของการทำความร้อนไมโครเวฟ

1. ใช้เวลาน้อย (High Speed) ประหยัดเนื้อที่และแรงงาน ลดจำนวนวัสดุที่เสียเนื่องจากอุปกรณ์ทำงานส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary Part)
2. การทะลุทะลวงของพลังงาน (Energy Penetration) ไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปกำเนิดพลังงานความร้อนจากภายในวัสดุทำให้มีความร้อนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ การให้ความร้อนแบบนี้จะให้ความร้อนจากผิวนอกเข้าสู่ภายในซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ผิวนอกเพราะมีอุณหภูมิสูงเกินไปในขณะที่ภายในเนื้อวัสดุยังไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการนอกจากนั้น

ยังใช้เวลามากเพราะข้อจำกัดทางการนำความร้อน ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่า

3. ความสามารถในการเลือกวัสดุรับความร้อน (Selective Energy Absorption) วัสดุบางชนิดสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ทันทีแต่วัสดุบางชนิดไม่สามารถดูดซับพลังงานได้ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างเช่น สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อโดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น

4. การควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างทันทีทันใด (Instantaneous Electronic Control) อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเก่าเช่น เตาอบ ต้องใช้เวลามากในการปรับอุณหภูมิ แต่เตาไมโครเวฟสามารถปรับอุณหภูมิด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้เวลาอันน้อยมาก

5. มีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency) การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟใช้พลังงานน้อยกว่าการทำความร้อนแบบเก่า เมื่อมีการให้ปริมาณความร้อนเท่า ๆ กัน (การทำความร้อนแบบเก่ามีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณร้อยละ 10-30 ในขณะที่ไมโครเวฟมีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ ร้อยละ 60-70)

6. ไมโครเวฟเป็นกระบวนการสะอาด (Microwave Processing is Clean) กระบวนการทางไมโครเวฟไม่สร้างมลภาวะต่าง ๆ ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบอื่นที่ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

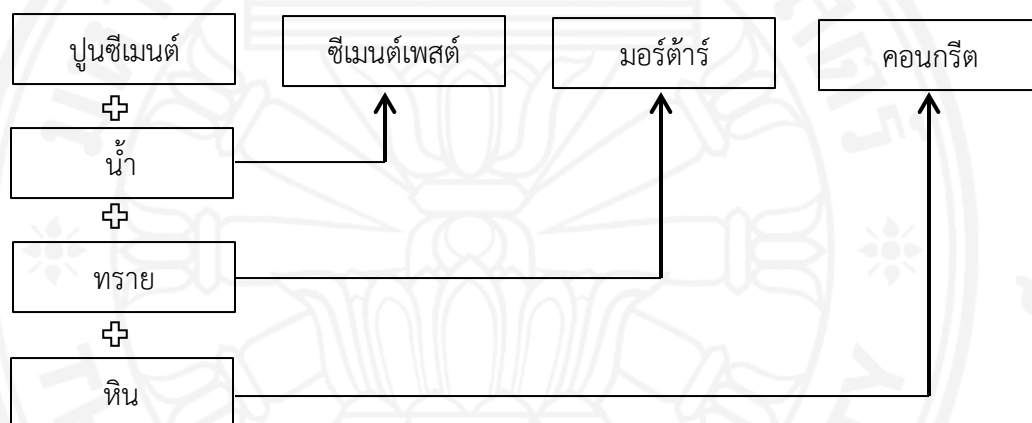
ในปัจจุบันกระบวนการทางไมโครเวฟถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานทางด้านอุตสาหกรรม เช่น การอบแห้งอาหาร อบแห้งสิ่งทอ อบแห้งไม้และกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก การทำสเตอริไลซ์ เป็นต้น งานทางด้านการแพทย์ เช่น การคลายเนื้อเยื่อที่แข็งตัว การอุ่นเลือด และ กำจัดเนื้องอก

3.3 ทฤษฎีพื้นฐานคอนกรีต

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคอนกรีตนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟในการบ่มคอนกรีต เนื่องจากทฤษฎีพื้นฐานทางคอนกรีตนี้บอกถึงโครงสร้างองค์ประกอบต่าง ๆ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นรวมถึงการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเมื่อผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟซึ่งทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทางคอนกรีตมีดังนี้

3.3.1 ความหมายของคอนกรีต

คอนกรีต หมายถึง วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านราคาและสมบัติต่าง ๆ คอนกรีตประกอบไปด้วยวัสดุผสม 2 ส่วน ได้แก่ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมได้แก่ ทราย และหิน เมื่อนำมาผสมกันแล้วจะยังคงสภาพเป็นของเหลวช่วงหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ หลังจากนั้นก็จะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นซึ่งคอนกรีตประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ ทราย และหิน โดยเมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ มาผสมกันจะเรียกตามชื่อดังในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีต

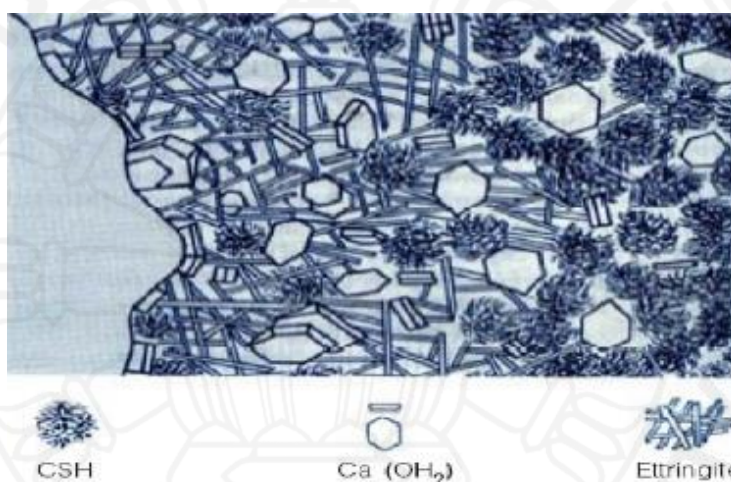
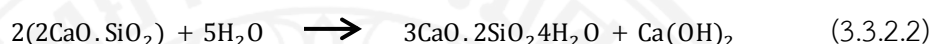
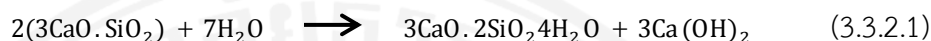
3.3.2 ปฏิริยาไฮเดรชัน

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิริยาเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลายซีเมนต์จะละลายในน้ำก่อให้เกิดไอออนในสารละลายและไอออนนี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction” ปฏิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์นั้นจะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิริยาระหว่างของแข็งซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดซึ่งเมื่อเกิดปฏิริยาไฮเดรชันผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิริยาต่อไปทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เรา

จะสามารถแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภทได้ 3 ประเภทดังนี้

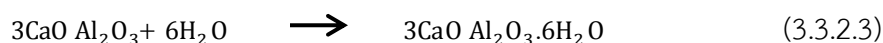
2.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S) โดยที่แคลเซียมซิลิเกตนั้น จะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ CSH ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยมีสมการการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้



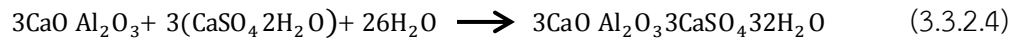
ภาพที่ 3.10 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต

จากภาพที่ 3.10 จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นอย่างไร $Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีสมบัติเป็นต่างอย่างมาก คือมีค่า pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

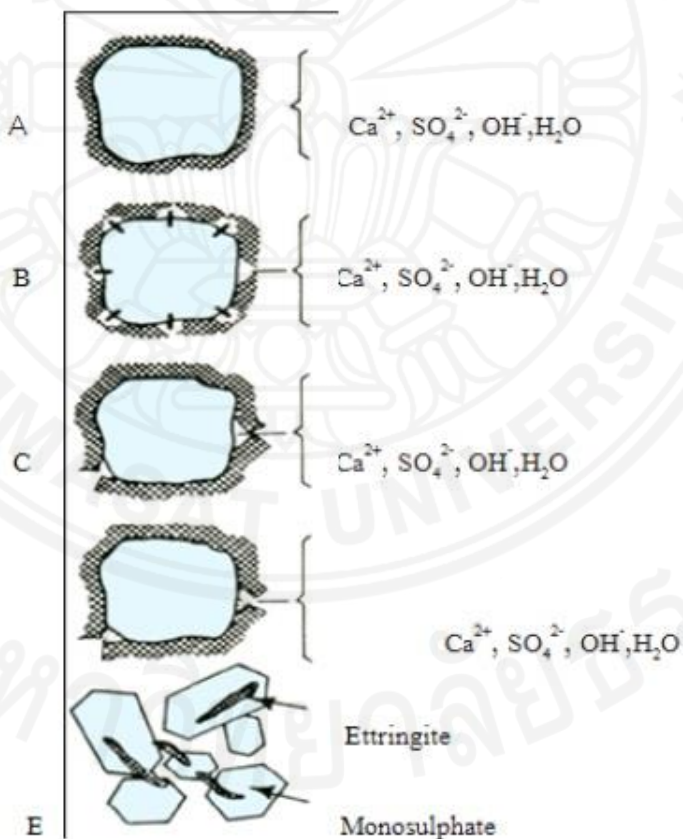
2.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารนี้จะเกิดขึ้นที่ทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างรวดเร็ว ดังสมการ



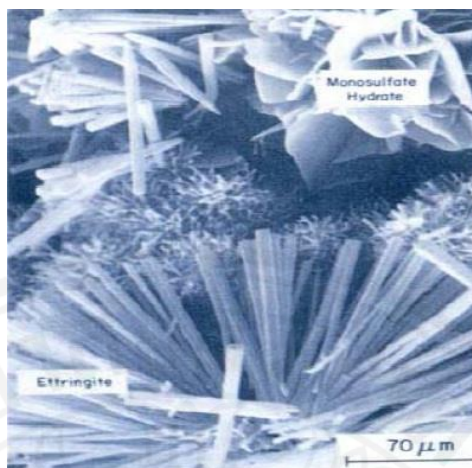
เพื่อเป็นการหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว เราจึงต้องใส่ยิปซัมเข้าไปในระหว่างขบวนการบดปูนเม็ด ดังนั้นยิปซัมจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาคของไตรแคลเซียมอลูมิเนต ดังสมการ



แต่ชั้นของ Ettringite นั้นก่อให้เกิดการหน่วงของการก่อตัวของไตรแคลเซียมอลูมิเนตและทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S) กับไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_2S) เป็นส่วนใหญ่แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ซึ่งเมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจาก การเพิ่มปริมาตรของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งซัลเฟตไอออน (Sulphate ions) มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดงในภาพที่ 3.11 และ ภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.11 ขบวนการหน่วงเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต



ภาพที่ 3.12 ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite

2.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ปฏิกิริยานี้จะเกิดในช่วงต้นโดยเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) จะทำปฏิกิริยากับยิปซัมและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ



3.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะมีผลกับคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1. อายุของเพสต์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากขึ้นในช่วงแรก และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน
2. องค์ประกอบของซีเมนต์จะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักแต่ละตัวในซีเมนต์จะแตกต่างกัน
3. ความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มาก ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ในอัตราที่เร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของปฏิกิริยา
4. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในช่วงแรกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั้นไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในช่วงหลังอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง ถ้าส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ลดลง ส่งผลคือทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเฉลี่ยและตีกีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง

5. อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมินี้ต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของเฟส

6. น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาเร่งหรือน้ำยาหน่วงการก่อตัวจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยจะเพิ่มหรือลดตามลำดับ

3.3.4 กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพของเหลวจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้ว สมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะนั้นจะมีผลต่อกันและกัน การที่จะได้มาซึ่งคอนกรีตที่ดีนั้นจะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนของส่วนผสมที่พอเหมาะกับการใช้งาน ซึ่งกำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการดังต่อไปนี้

1. กำลังของมอร์ต้า มีบทบาทเป็นอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยกำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อของมอร์ต้า อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และตริกซ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้น สรุปได้ว่ากำลังของมอร์ต้าจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์

2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูง การเพิ่มปริมาณมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี

3.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัด

1. ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลเป็นอย่างมากเพราะปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ถึงแม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้วอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์มีความละเอียดสูงก็จะให้กำลังสูง

2. มวลรวม มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะว่ามวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ อย่างไรก็ตามมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็กสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเท่าเท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักจะให้กำลังที่ดีกว่าส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนละเอียดที่ไม่เหมาะสมคือมีส่วนที่ละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่ละเอียดแบบพอดี เพื่อที่ว่าคอนกรีตจะได้มีความสามารถในการเทเท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตอีกเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้รวมไปถึงความเสียดทานของมวลรวมด้วยซึ่งอาจจะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตได้

3. น้ำ มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใสและปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูงน้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปะปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง

3.3.6 การทำคอนกรีต

1. การซึ่งตวงส่วนผสม หากตวงโดยใช้ปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการซึ่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมผิดก็จะทำให้สมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปอัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์

2. การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึงและเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นหากส่วนผสมไม่เข้ากันแล้วก็จะทำให้กำลังอัดที่ได้ได้นั้นลดน้อยลงไม่คงที่ได้

3. การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะเกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อของคอนกรีตเป็นผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้

3.3.7 การบ่มคอนกรีต

1. ความชื้น จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งนับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมเข้ากับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์

และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน

2. อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงในขณะการบ่มทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังที่สูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า

3. เวลาที่ใช้ในการบ่ม หากสามารถทำให้คอนกรีตมีความชื้นได้ตลอดเวลายิ่งดีซึ่งจะยิ่งเพิ่มกำลังของคอนกรีตตามไปด้วย

3.4 สมการที่เกี่ยวข้อง

3.4.1 สมการการผลิตประมาณความร้อนเชิงปริมาตร

เมื่อคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่ผ่านวัสดุไดอิเล็กตริก วัสดุจะถูกดูดซับพลังงานและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเรียกว่า การผลิตปริมาณความร้อนเชิงปริมาตร ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าสัมประสิทธิ์ลอสมแทนเจนต์ และค่าความเข้มของสนามไฟฟ้ากำลังสอง

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r'' (\tan\delta) E^2 \quad (3.4.1)$$

เมื่อ E คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง, f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ, ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่น, ϵ_r'' คือ Relative Dielectric Constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใด ๆ ที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ, ϵ_r'' คือส่วนจินตภาพ โดยทั่วไปเรียก Dielectric Loss Factor ซึ่งจะบอกถึงความสูญเสียพลังงานภายในชิ้นทดสอบหรือวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดย ϵ_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ (มีค่า 8.86) และ $\tan\delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อน

3.4.2 สมการการหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นแห้ง (Dry Basis) ของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \quad (3.4.2)$$

เมื่อ M_d คือ ค่าความชื้นแห้งมาตรฐาน (Dry Basis)

w คือ น้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่ขึ้น

d คือ น้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่แห้ง



บทที่ 4 วิธีการวิจัย

4.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ โดยวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของผิวซีเมนต์เพสต์ ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ การถ่ายเทความชื้นในซีเมนต์เพสต์ระหว่างกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ รวมถึงพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งในการทดลองแต่ละกรณี จะใช้ซีเมนต์เพสต์ที่ฟังก่อตัวในระยะเริ่มต้น ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ ความดันสุญญากาศ ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่บรรจุในภาชนะ และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ รายละเอียดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 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	24	0.38	30	1
8	24	0.38	50	1
9	24	0.45	30	1
10	24	0.45	50	1
11	24	0.75	30	1
12	24	0.75	50	1

กรณี	จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก้อน)	อัตราส่วนของน้ำต่อ ปูนซีเมนต์	ความดันสุญญากาศ (kPa)	ตำแหน่งแมกนีตรอน
13	12	0.45	50	2
14	12	0.45	50	1, 2
15	24	0.45	50	2
16	24	0.45	50	1, 2

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ (ต่อซีเมนต์เพสต์ 1 ก้อน)

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

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.2.1 เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

ใช้ในการบ่มคอนกรีต ด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ โดยมีการป้อนคลื่นแมกนีตรอน 2 ตัว กำลังงานที่ป้อนเข้า 2×800 วัตต์ (W) ความถี่ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)



ภาพที่ 4.1 เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

รายละเอียดเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

รายละเอียดทางกล

- ขนาดของควิวตี้ (เส้นผ่าศูนย์กลาง) 480 × 720 mm
- อุณหภูมิในควิวตี้ < 70 °C
- ปริมาณบรรจุในถัง 10 kg/batch

ข้อมูลทางไฟฟ้า

- ปริมาณกระแสไฟฟ้า 380 V 3 ph, PE/50-60 Hz
- กำลังงานป้อนเข้า 2 × 800 W
- จำนวนแมกนีตรอน 2 ตัว
- ความถี่ที่ใช้ 2.45 GHz
- กำลังปั๊มสุญญากาศ 1.12 kW

4.2.2 ชุดกล้องอินฟราเรด

กล้องอินฟราเรด (Infrared Camera) รุ่น FLIR T200 ใช้สำหรับถ่ายภาพการกระจายตัวของความร้อนภายในคอนกรีต หลังจากทำการบ่มเป็นระยะ ๆ



ภาพที่ 4.2 ชุดกล้องอินฟราเรด

4.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดรุ่น FLUKE 561 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวของคอนกรีตโดยมีค่าความแม่นยำ 99% หรือ ค่าคลาดเคลื่อนโดยประมาณ $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C} / 2\text{ }^{\circ}\text{F}$



ภาพที่ 4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

4.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Kitchen Scale)

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลรุ่น SF-400 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักซีเมนต์เพสต์ ซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักได้มากที่สุดถึง 5000 g



ภาพที่ 4.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

4.2.5 กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Digital Microscope)

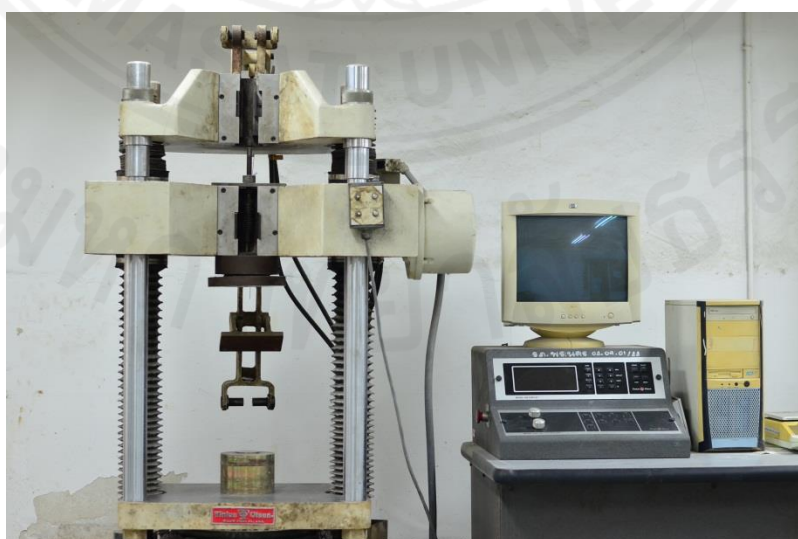
กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลรุ่น Dino-Lite AM3013T เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจดูโครงสร้างภายในของคอนกรีต



ภาพที่ 4.5 กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล

4.2.6 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งอาศัยหลักการของ Static Bending สามารถวัดค่าของ Modulus, Stress, Toughness ของคอนกรีตได้



ภาพที่ 4.6 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

4.2.7 เครื่องอบลมร้อน

เป็นเครื่องที่ใช้ระบบการพาความร้อนด้วยลมร้อน ใช้อบซีเมนต์เพสต์เพื่อหาค่าความชื้นสุดท้าย แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความชื้นภายในซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.7 เครื่องอบลมร้อน

4.2.8 เครื่องผสมซีเมนต์

เครื่องผสมซีเมนต์รุ่น HOBART ใช้สำหรับผสมส่วนผสมในการทำซีเมนต์เพสต์ โดยสามารถปรับความเร็วในการผสมได้ 3 ระดับ



ภาพที่ 4.8 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์

4.2.9 เครื่องชั่งน้ำหนักส่วนผสมแบบดิจิตอล

เครื่องชั่งน้ำหนักส่วนผสมแบบดิจิตอลรุ่น OHAUS ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักได้มากที่สุดถึง 12000 g



ภาพที่ 4.9 เครื่องชั่งน้ำหนักส่วนผสมแบบดิจิตอล

4.2.10 แม่พิมพ์ซีเมนต์เพสต์แบบเหล็ก

แม่พิมพ์ซีเมนต์เพสต์แบบเหล็กที่สามารถหล่อซีเมนต์เพสต์ขนาด $5 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ ได้จำนวน 6 ก้อน



ภาพที่ 4.10 แม่พิมพ์ซีเมนต์เพสต์แบบเหล็ก

4.2.11 ชั้นวางซีเมนต์เพสต์แบบอะคริลิก

ชั้นวางซีเมนต์เพสต์แบบอะคริลิก ใช้สำหรับวางซีเมนต์เพสต์ในการนำเข้าสู่เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ



ภาพที่ 4.11 ชั้นวางซีเมนต์เพสต์แบบอะคริลิก

4.2.12 มิเตอร์ไฟฟ้า

มิเตอร์ไฟฟ้า ใช้สำหรับเก็บค่าพลังงานที่ใช้ของเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ



ภาพที่ 4.12 มิเตอร์ไฟฟ้า

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1 การทำซีเมนต์เพสต์

นำปูนซีเมนต์และน้ำมาชั่งน้ำหนักให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการ จากนั้นเทส่วนผสมทั้งหมดลงในเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.13 การผสมซีเมนต์เพสต์

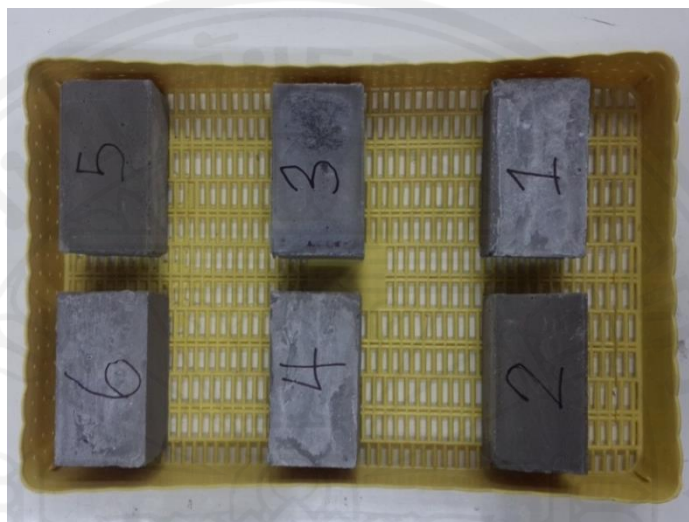
เมื่อปูนซีเมนต์และน้ำผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จึงนำออกมาเทลงในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ในระหว่างที่เทลงในแบบพิมพ์ให้ใช้ค้อนยางเคาะอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.14 การเทปูนซีเมนต์ลงในแบบพิมพ์

4.3.2 ทดลองโดยใช้เตาอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 105 °C

นำซีเมนต์เพสต์ขนาด $5 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ มาชั่งน้ำหนักก่อนเข้าเตาอบลมร้อนเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นอบลมร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิ 105 °C แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักสุดท้าย นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.15 ซีเมนต์เพสต์สำหรับเข้าเตาอบลมร้อน

4.3.3 ทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

นำซีเมนต์เพสต์ขนาด $5 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ ออกจากแบบพิมพ์เพื่อมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและวัดอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนนำเข้าเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ



ภาพที่ 4.16 การชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและอุณหภูมิเริ่มต้นของซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.17 ลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์แบบ 12 ก้อน ภายในควิวตี้



ภาพที่ 4.18 ลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์แบบ 24 ก้อน ภายในควิวตี้

จากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ ตั้งเวลาทุก ๆ 10 นาที เพื่อนำออกมาซึ่งน้ำหนัที่หายไปและวัดอุณหภูมิ ถ่ายภาพการกระจายตัวของความร้อนที่ผิวซีเมนต์เพสต์ด้วยกล้องอินฟราเรดดังภาพที่ 4.19 และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เมื่อได้ค่าความชื้นที่ต้องการจึงหยุดทำการทดลองการบ่มซีเมนต์เพสต์ จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัดโดยแบ่งเป็นทุก ๆ วันที่ 1, 3, 7, และ 28 หลังการผ่านการอบโดยเครื่องไมโครเวฟที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.19 การถ่ายภาพการกระจายตัวของความร้อนที่ผิวซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 4.20 ภาพก่อนและหลังการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศโดยการศึกษาอิทธิพลของความดันสุญญากาศ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยใช้โหมดไมโครเวฟแบบ Multimode Mode ความถี่ 2,450 MHz จำนวนแมกนีตรอน 2 ตัว กำลังงานที่ได้ 2 x 800 วัตต์ (W) และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยทำการเก็บค่าอุณหภูมิผิวซีเมนต์เพสต์ เปรอ์เซ็นต์ความชื้น ระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์เพสต์ และพลังงานที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ ได้ผลการทดลองในกรณีต่าง ๆ และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าการใช้พลังงานในการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ

กรณี	พารามิเตอร์ที่ใช้	เวลา (นาที)	พลังงานที่ใช้ (kWh.)
1	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	100	4.5
2	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	110	4.9
3	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	40	2.0
4	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	50	2.2
5	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.75, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	140	6.3

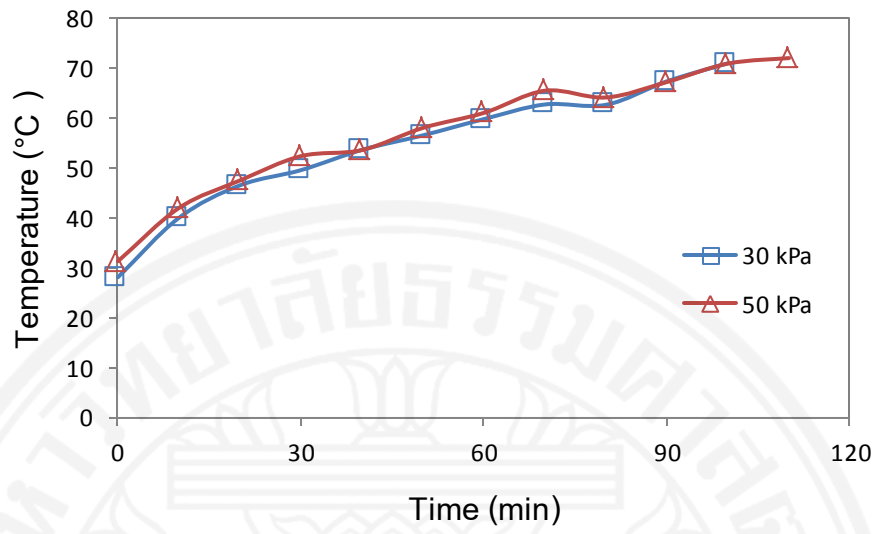
6	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.75, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	150	6.5
7	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.38, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	160	7.8
8	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.38, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	180	7.9
9	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	60	3.0
10	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	60	2.7
11	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.75, ความดันสุญญากาศ 30 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	220	10.1
12	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.38, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1	240	10.6
13	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2	70	3.7
14	ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2	30	1.9
15	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำตอ ปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2	60	2.9

16	ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน, อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45, ความดันสุญญากาศ 50 kPa, ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1, 2	40	2.6
----	--	----	-----

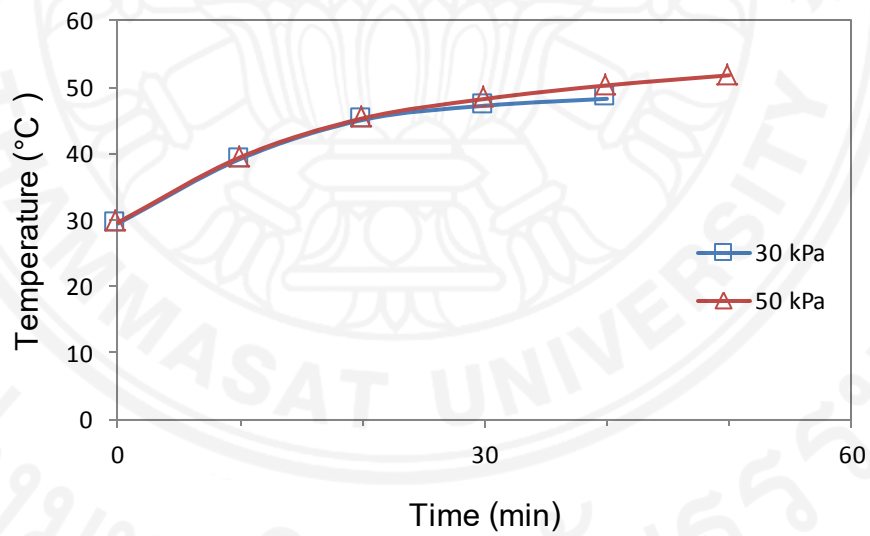
จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงระยะเวลาและค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 มีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) ซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 มีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) และซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.75 มีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ (Dry Basis) จากข้อมูลในตาราง เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในแต่ละกรณีพบว่า การบ่มซีเมนต์เพสต์โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ความดันสุญญากาศ 30 kPa ใช้พลังงานที่น้อยที่สุดในกรณีที่ใช้ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 คือ 2.0 kWh และการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ความดันสุญญากาศ 50 kPa ใช้พลังงานที่น้อยที่สุดในกรณีที่ใช้ซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 คือ 2.7 kWh แต่ถ้าเปรียบเทียบในกรณีตำแหน่งแมกนีตรอนจะพบว่าการบ่มที่ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ความดันสุญญากาศ 50 kPa ใช้พลังงานที่น้อยที่สุดในกรณีที่ใช้ซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน คือ 1.9 kWh และ 2.6 kWh ตามลำดับ

5.1.1 อิทธิพลของความดันสุญญากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

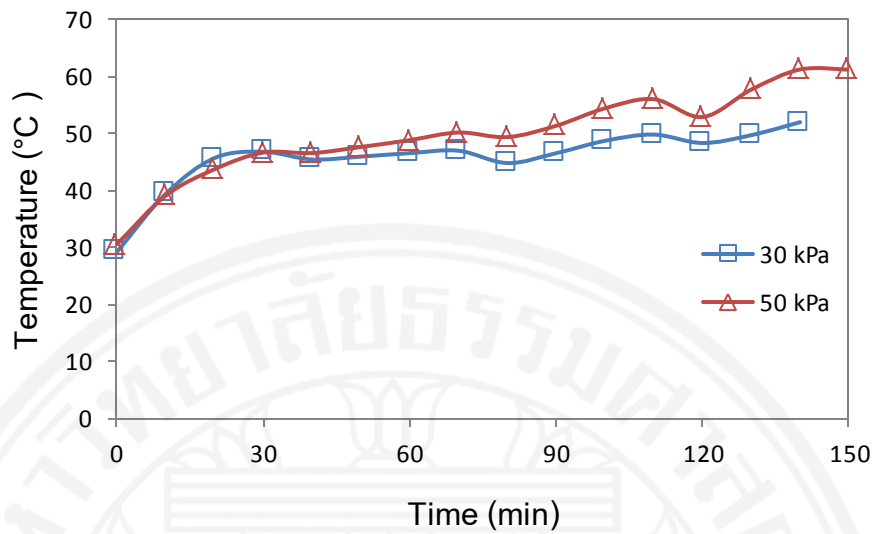
จากภาพที่ 5.1-5.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ในช่วงระยะเริ่มต้นของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าไดอิเล็กตริกมาก จะดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้ดีและเปลี่ยนเป็นความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ระยะกลางและระยะสุดท้ายของการบ่มซีเมนต์เพสต์ อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์จะเพิ่มขึ้นได้ช้ากว่าในช่วงระยะเริ่มต้น แต่ยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดความร้อนสะสมภายในซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นเมื่อสังเกตจากภาพที่ 5.1-5.2 จะพบว่าที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa มีอุณหภูมิในซีเมนต์เพสต์ที่ต่ำกว่าความดันสุญญากาศ 50 kPa เนื่องจากในสภาวะที่ความดันสุญญากาศต่ำ จะมีผลทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำด้วยเช่นกัน



(ก)

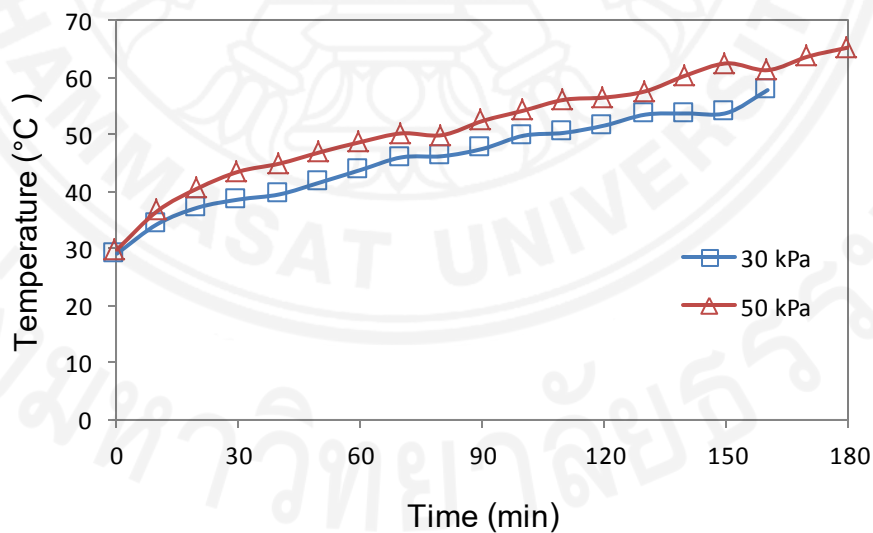


(ข)

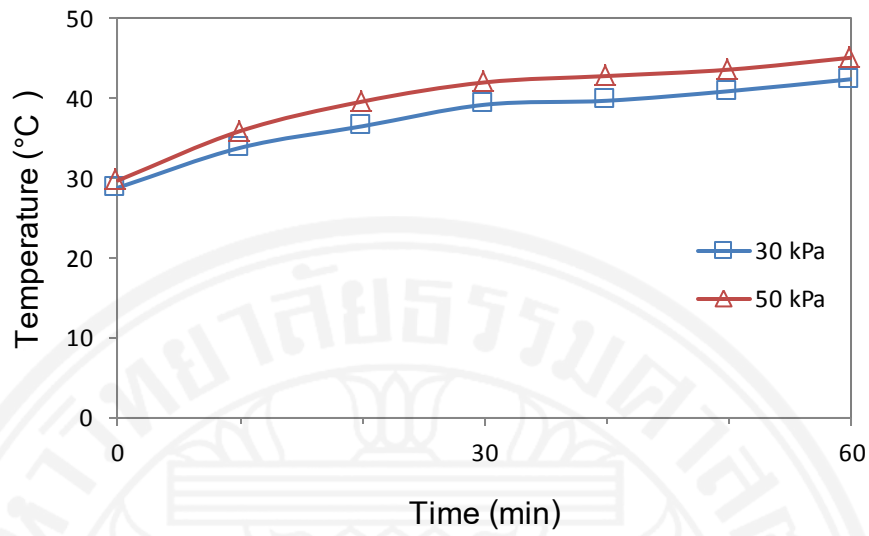


(ค)

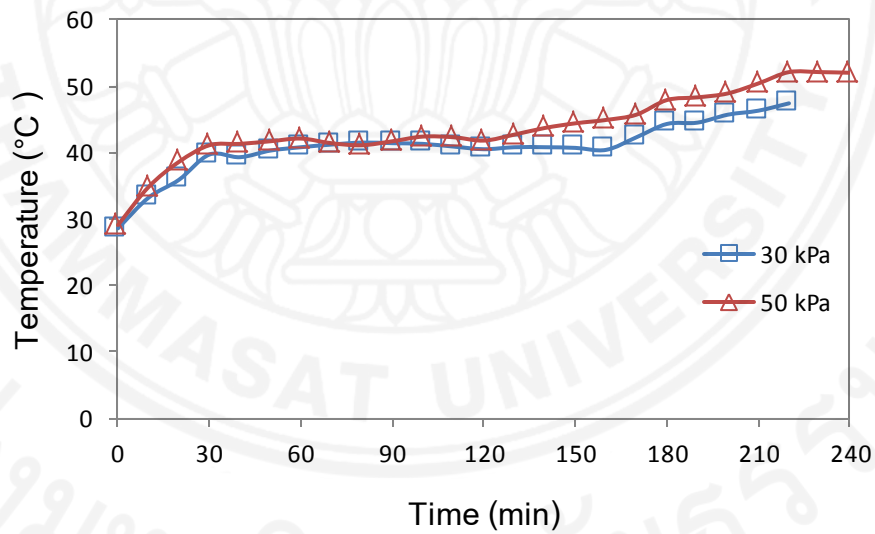
ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสูญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75



(ก)



(ข)

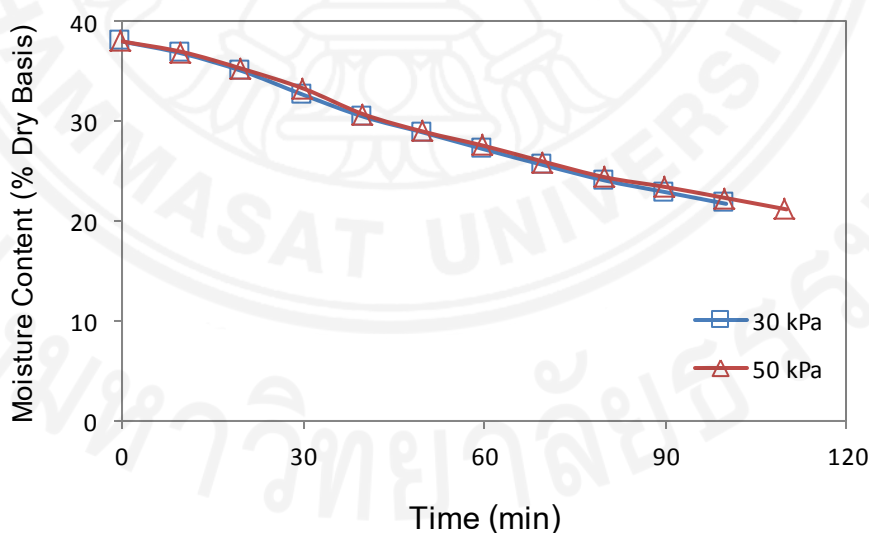


(ค)

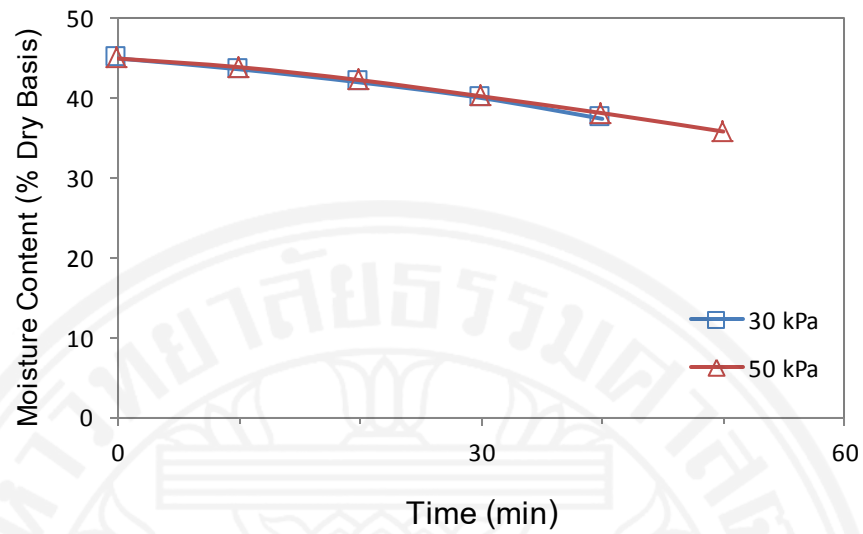
ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75

5.1.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์

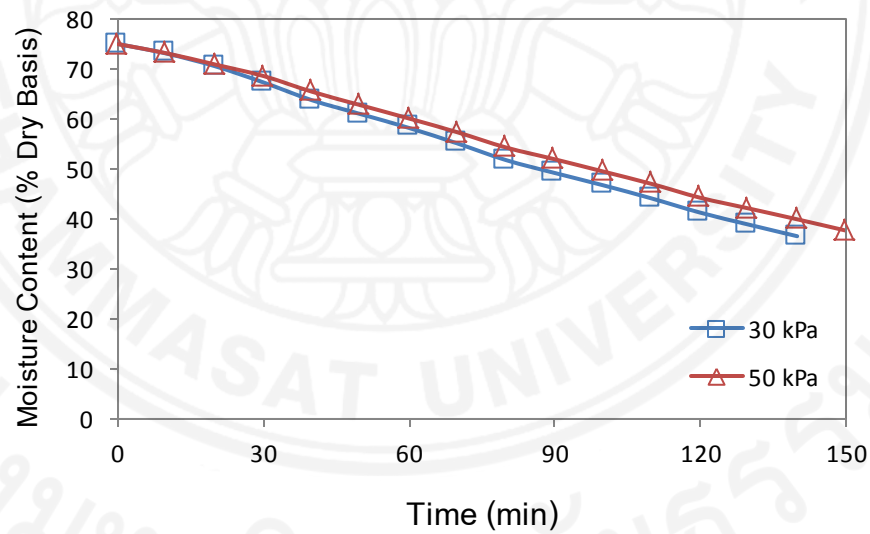
จากภาพที่ 5.3-5.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ในช่วงระยะเริ่มต้นของการบ่มซีเมนต์เพสต์ เมื่อซีเมนต์เพสต์ได้รับพลังงานไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กตริก จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากซีเมนต์เพสต์มีการกระจายตัวของความชื้นสม่ำเสมอทั่ววัสดุ เมื่อเกิดการระเหยและกลั่นตัวภายใน ซึ่งอัตราการระเหยของความชื้นออกจากซีเมนต์เพสต์ในช่วงต้นจะมีค่าสูงมาก จากนั้นอัตราการไล่ความชื้นจะลดลง เมื่อเข้าสู่ระยะกลางและระยะสุดท้ายของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์เริ่มลดน้อยลงทำให้อัตราการไล่ความชื้นในซีเมนต์เพสต์ลดช้ากว่าในช่วงระยะเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อสังเกตจากภาพที่ 5.3-5.4 จะพบว่า ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa ปริมาณความชื้นลดลงเร็วกว่า และใช้เวลาในการบ่มซีเมนต์เพสต์เพื่อให้ได้ค่าปริมาณความชื้นที่พอเหมาะที่น้อยกว่าความดันสุญญากาศ 50 kPa เนื่องจากความดันสุญญากาศต่ำจะมีผลทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง ส่งผลให้น้ำหรือความชื้นระเหยได้เร็วกว่าความดันสุญญากาศที่สูง



(ก)

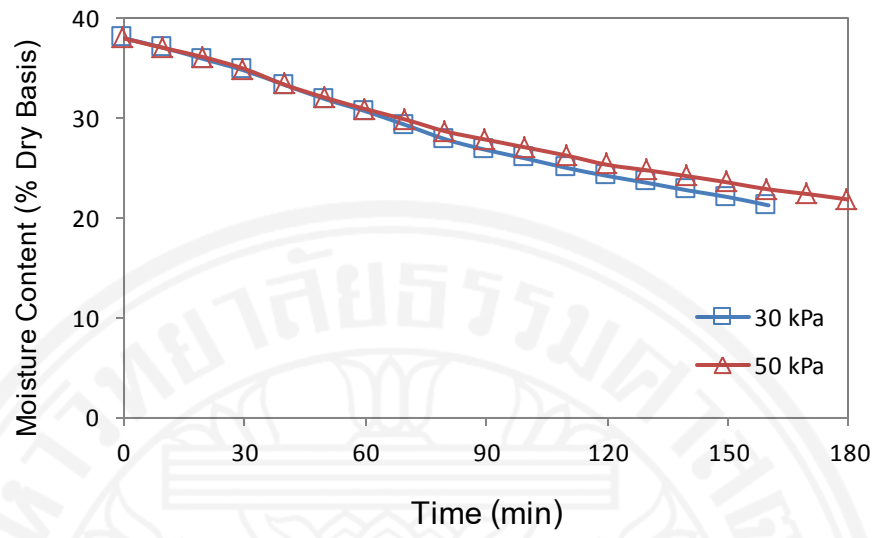


(ข)

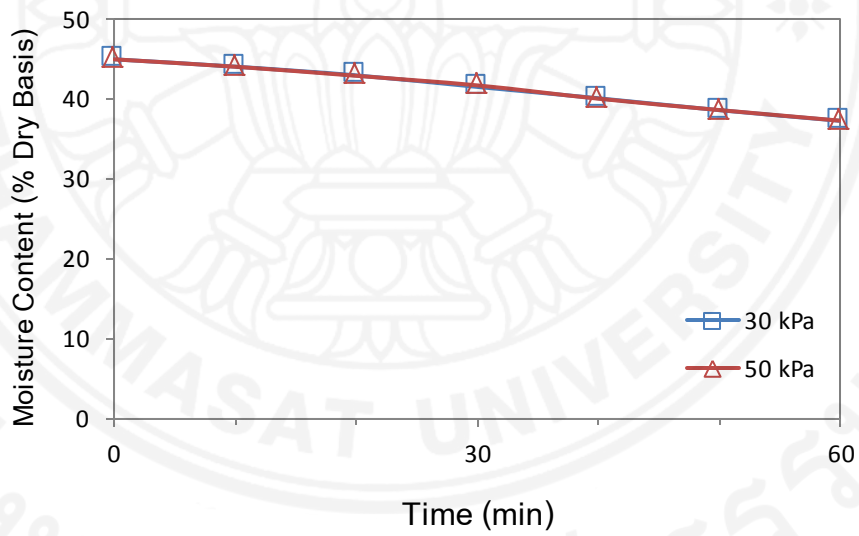


(ค)

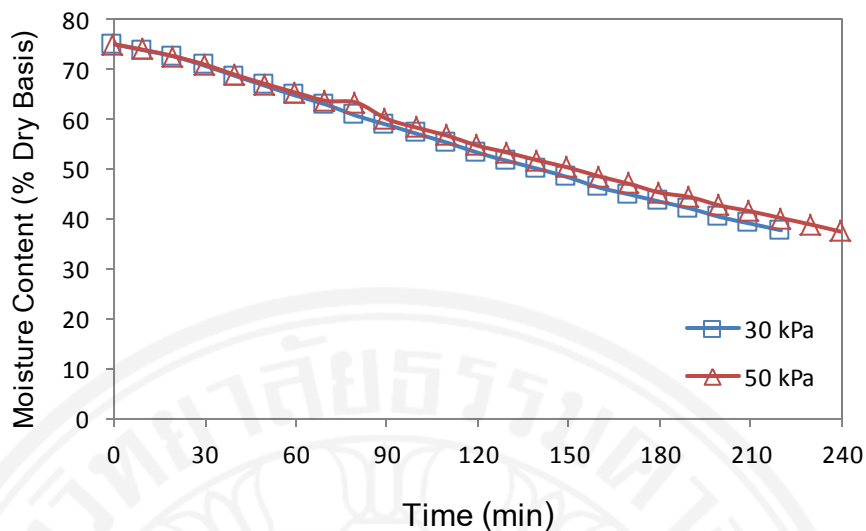
ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75



(ก)



(ข)

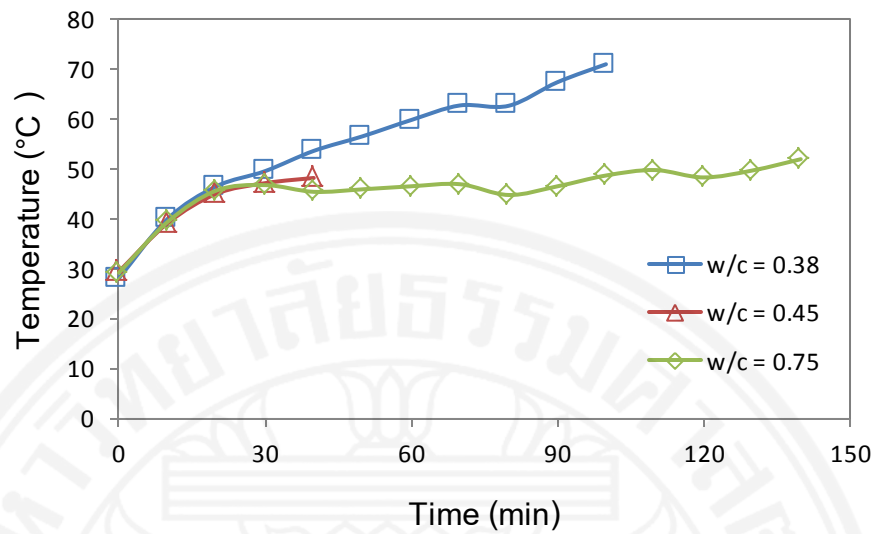


(ค)

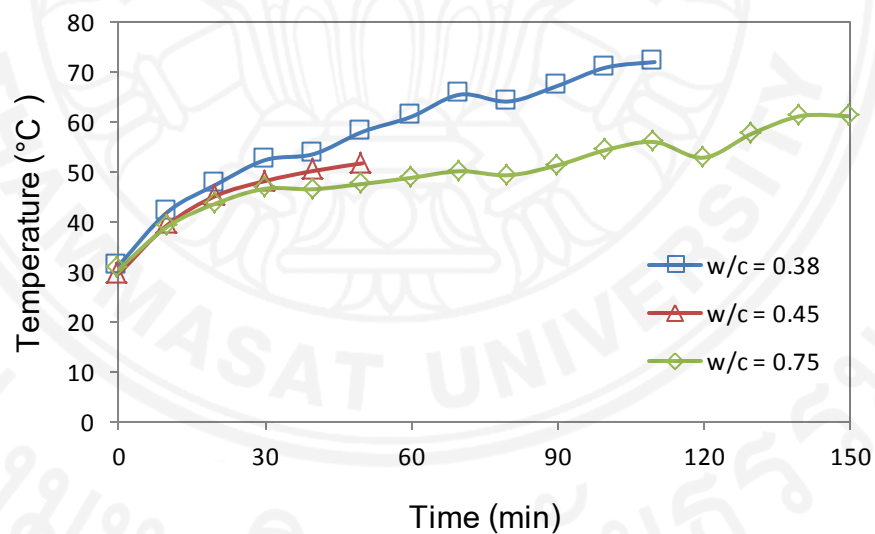
ภาพที่ 5.4 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ก) 0.38 (ข) 0.45 (ค) 0.75

5.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.5-5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 มีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่องสูงที่สุดในการบ่มซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในซีเมนต์เพสต์ รวมถึงค่าไดอิเล็กตริกของซีเมนต์มีมากกว่าค่าไดอิเล็กตริกของน้ำ จึงทำให้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่สูง

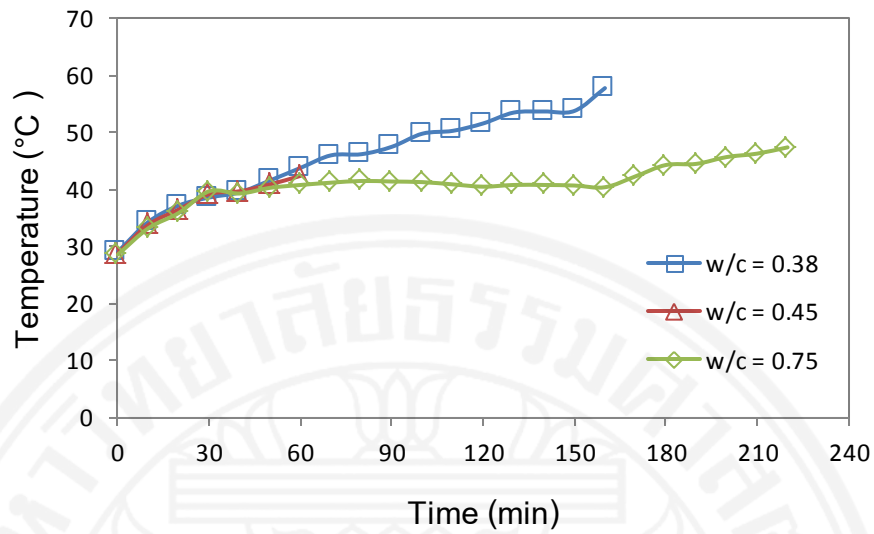


(ก)

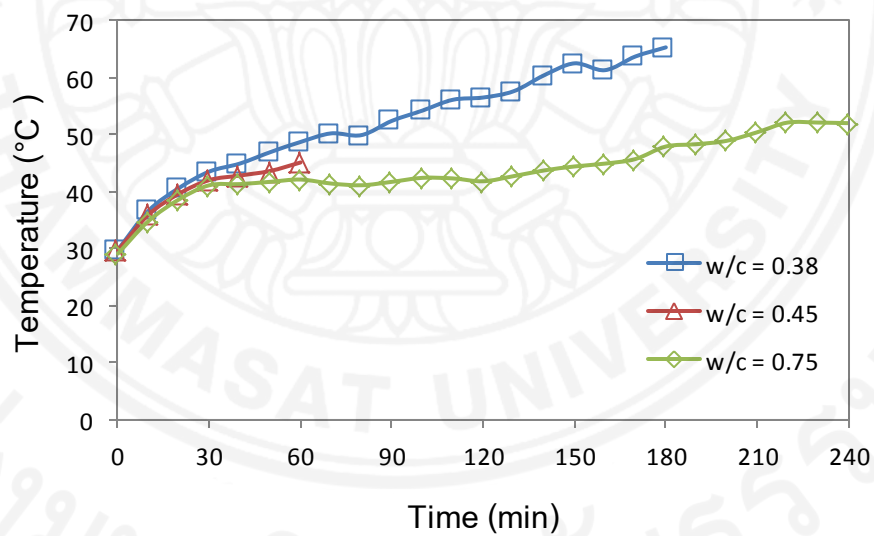


(ข)

ภาพที่ 5.5 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa



(ก)

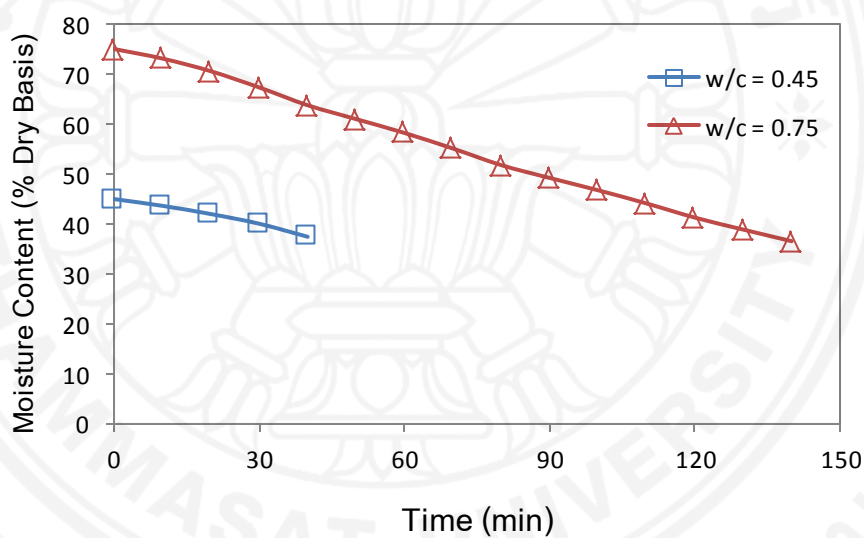


(ข)

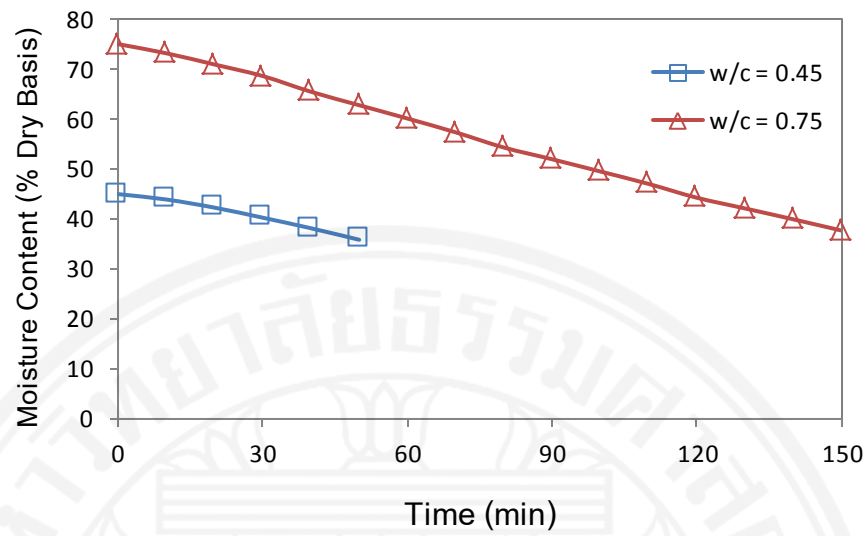
ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa

5.1.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.7-5.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสูญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์จะมีผลกับปริมาณความชื้นที่ลดลง นั่นก็คือ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์สูงจะทำให้ปริมาณความชื้นที่ลดลงสูงตามไปด้วย เนื่องจากภายในซีเมนต์เพสต์มีปริมาณความชื้นมากกว่าซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์น้อย

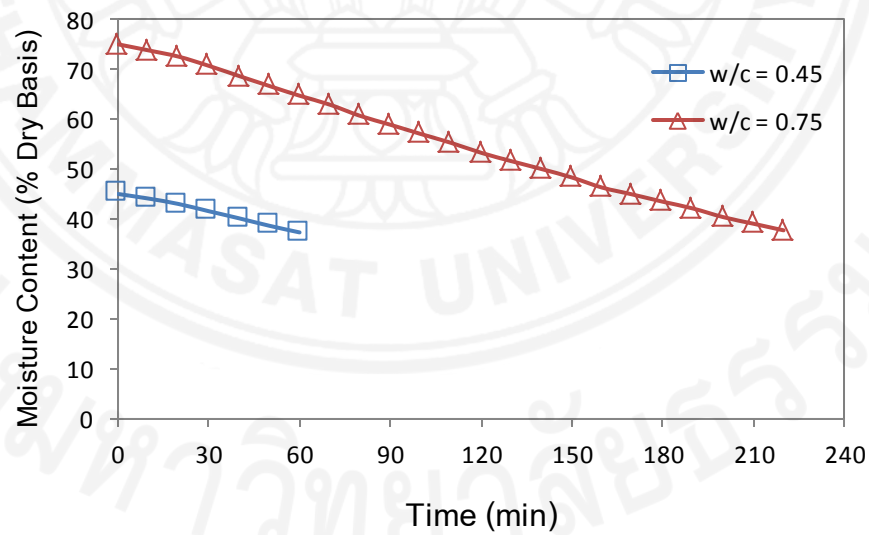


(ก)

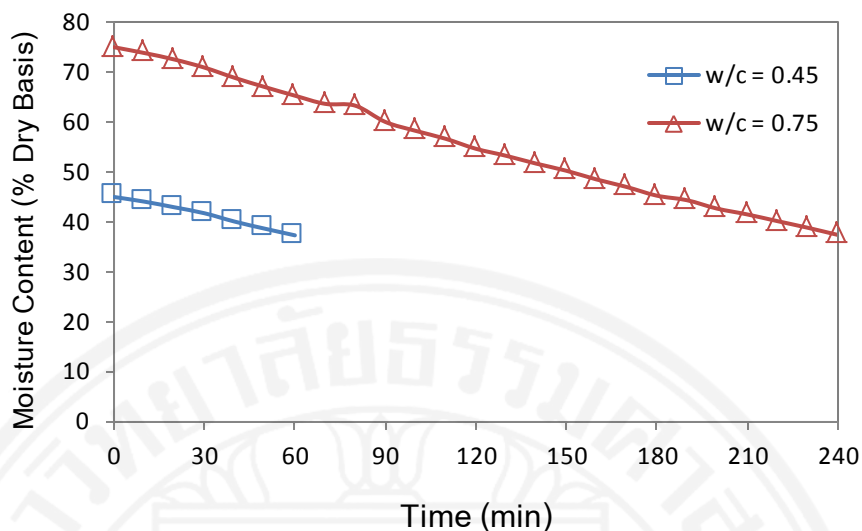


(ข)

ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa



(ก)

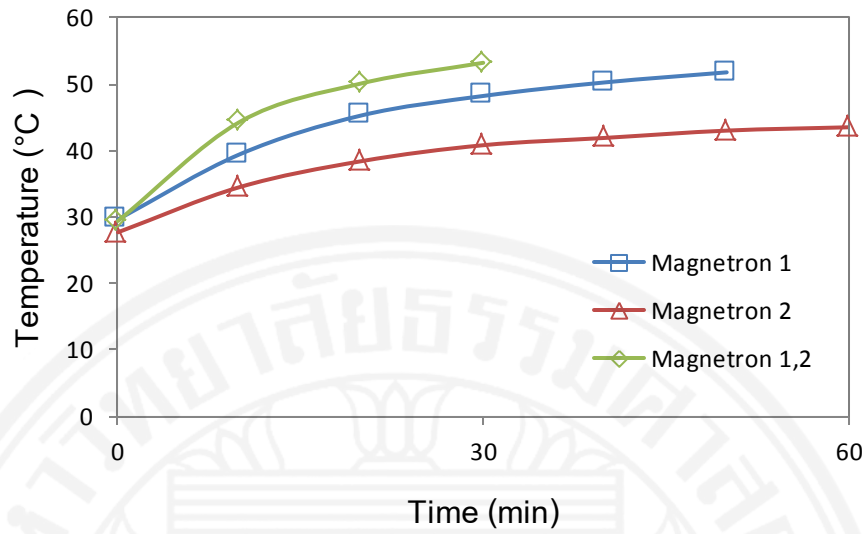


(ข)

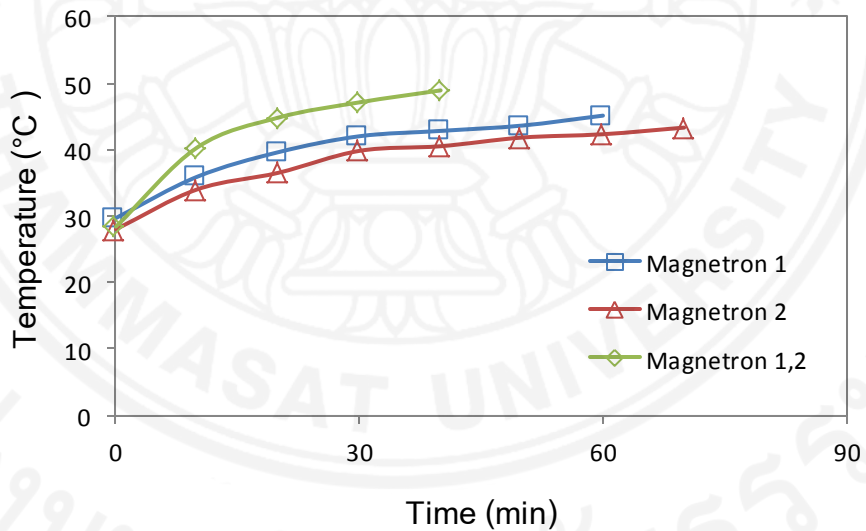
ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 และ 0.75 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ที่ความดันสุญญากาศ (ก) 30 kPa (ข) 50 kPa

5.1.5 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด เนื่องจากมีค่ากำลังไมโครเวฟที่ป้อนเข้าถึง 1600 วัตต์ (W) และที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 มีอุณหภูมิต่ำที่สุด



(ก)

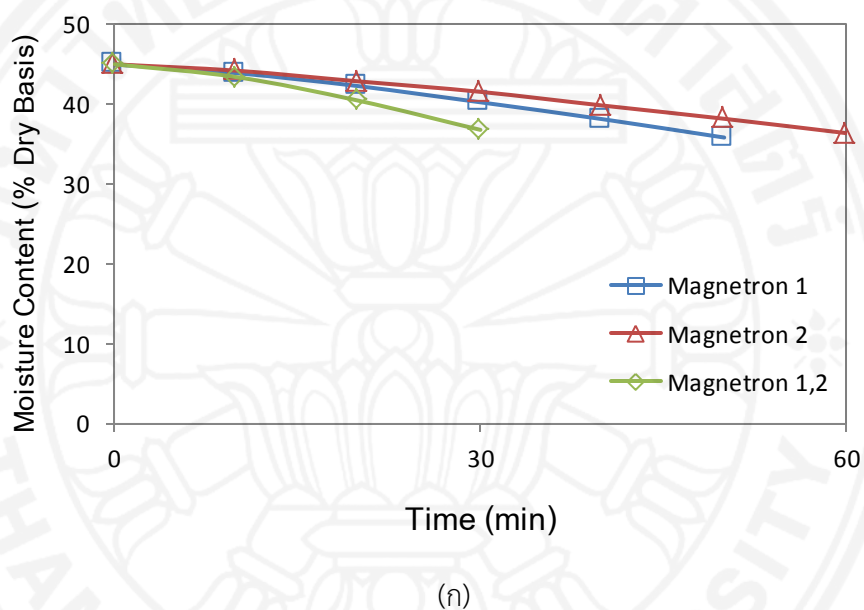


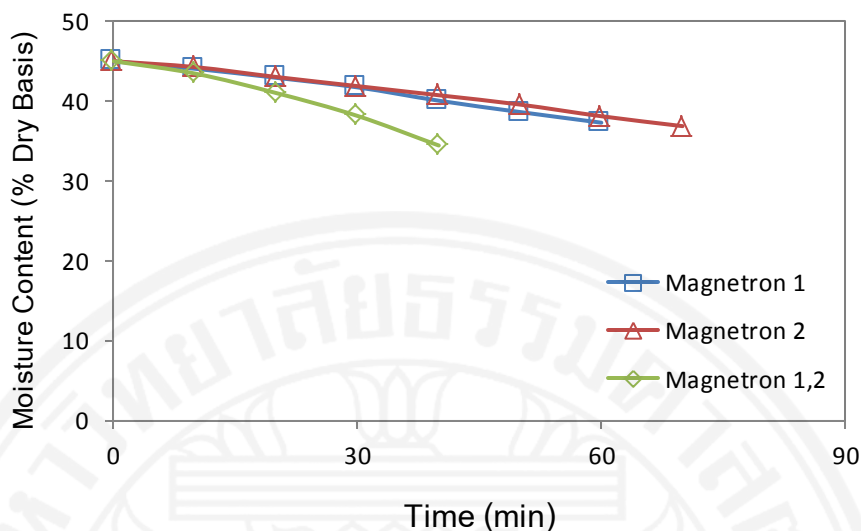
(ข)

ภาพที่ 5.9 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสูญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก) 12 ก้อน (ข) 24 ก้อน

5.1.6 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ความดันสูญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 ปริมาณลดลงเร็วที่สุด เนื่องจากค่ากำลังไมโครเวฟสูง จึงทำให้ความชื้นระเหยออกได้รวดเร็วยิ่งขึ้น



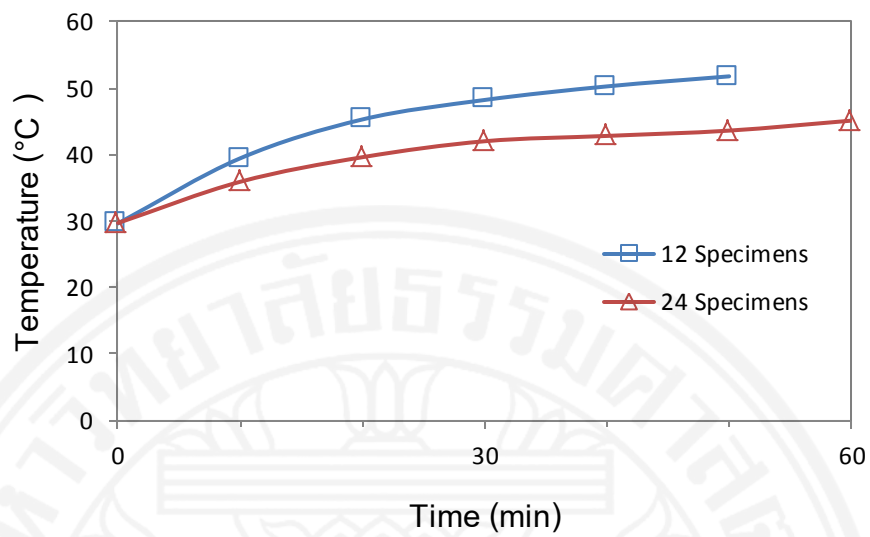


(ข)

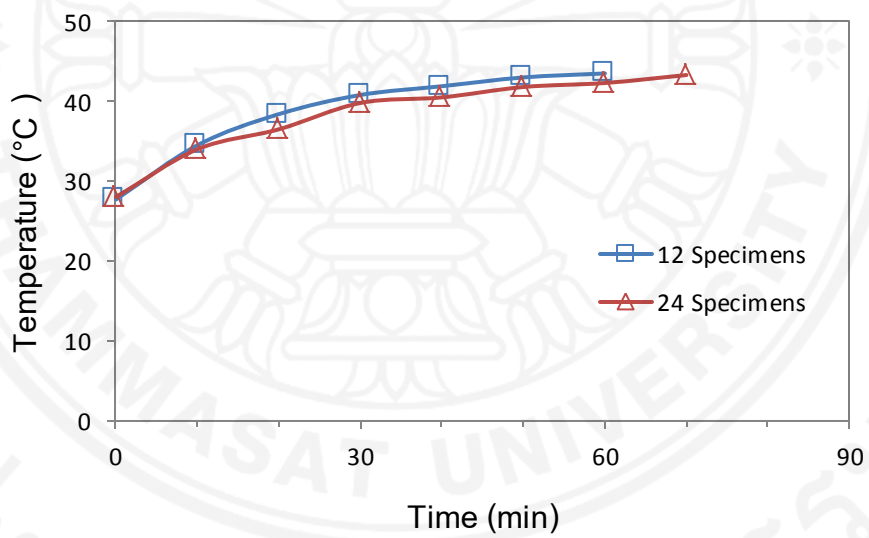
ภาพที่ 5.10 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1กับ2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ (ก) 12 ก้อน (ข) 24 ก้อน

5.1.7 อิทธิพลของจำนวนซีเมนต์เพสต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์

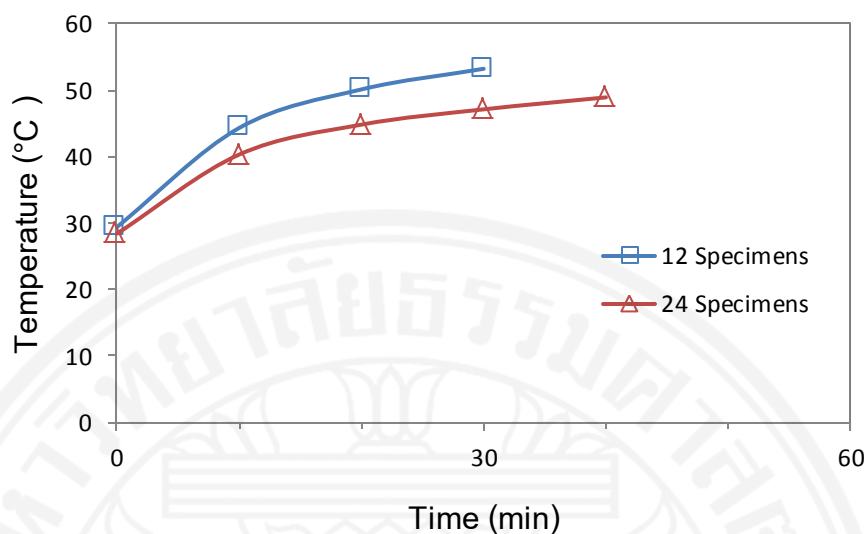
จากภาพที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1กับ2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 1กับ2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน แต่ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน เนื่องจากตำแหน่งการป้อนคลื่น จำนวนซีเมนต์เพสต์ และลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์มีส่วนสำคัญอย่างมากกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น



(ก)



(ข)

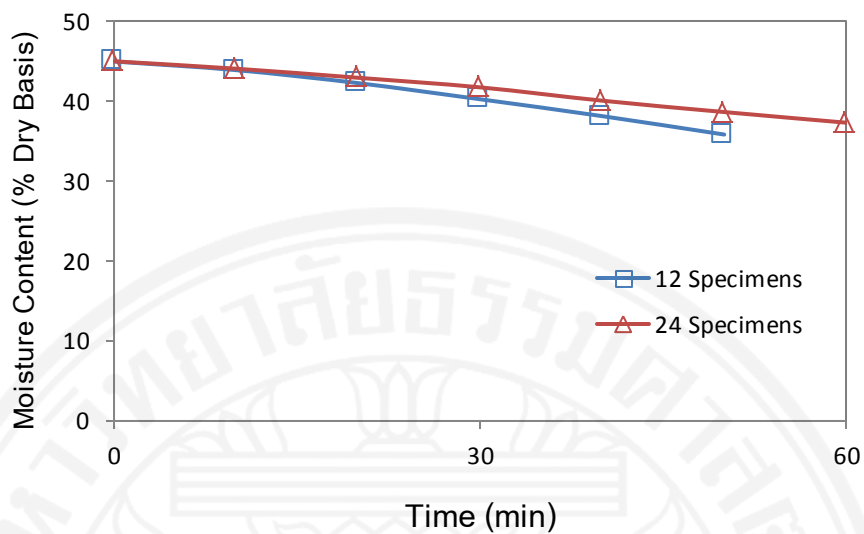


(ค)

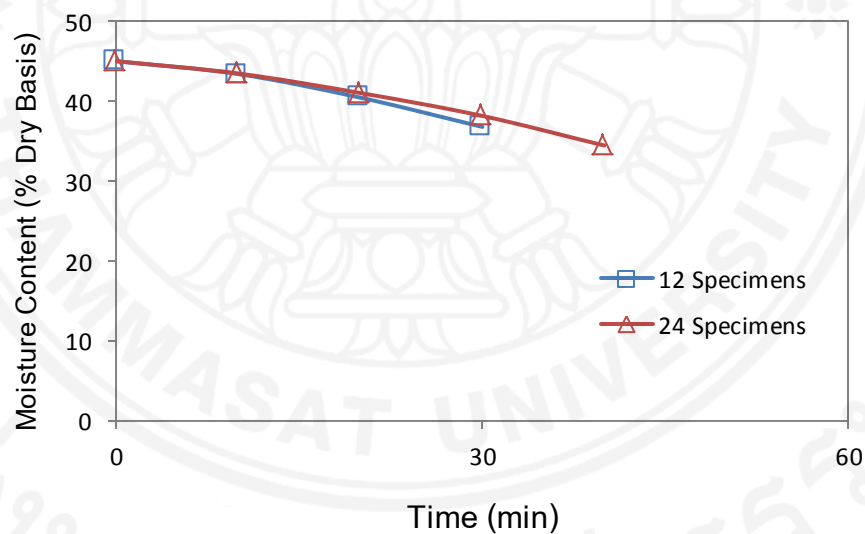
ภาพที่ 5.11 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอน (ก) ตัวที่ 1 (ข) ตัวที่ 2 (ค) ตัวที่ 1 กับ 2

5.1.8 อิทธิพลของจำนวนซีเมนต์เพสต์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการบ่มซีเมนต์เพสต์ ที่กำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน พบว่า ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 1 กับ 2 ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน มีปริมาณความชื้นที่ลดลงได้เร็วกว่า ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน แต่ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน มีปริมาณความชื้นที่ลดลงได้เร็วกว่า ที่จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน เนื่องจากตำแหน่งการป้อนคลื่น จำนวนซีเมนต์เพสต์ และลักษณะการวางซีเมนต์เพสต์มีส่วนสำคัญอย่างมากกับการระเหยของความชื้นภายในซีเมนต์เพสต์



(ก)

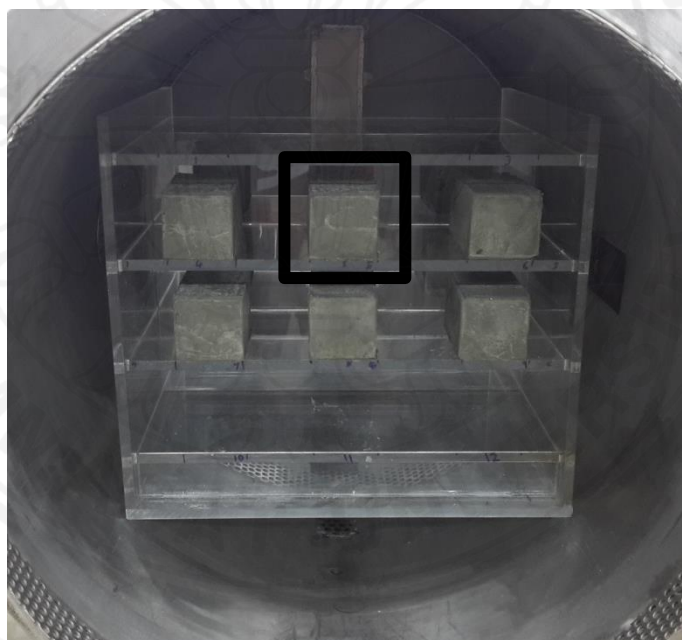


(ข)

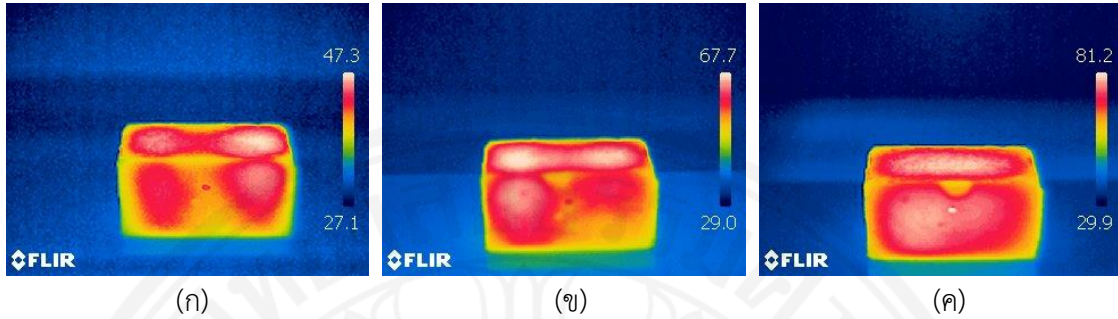
ภาพที่ 5.12 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน ที่การป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอน (ก) ตัวที่ 1 (ข) ตัวที่ 1กับ2

5.1.9 ภาพถ่ายการกระจายตัวของอนุภูมิภาคบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์และการกระจายตัวของอนุภูมิภาคในควิตี้

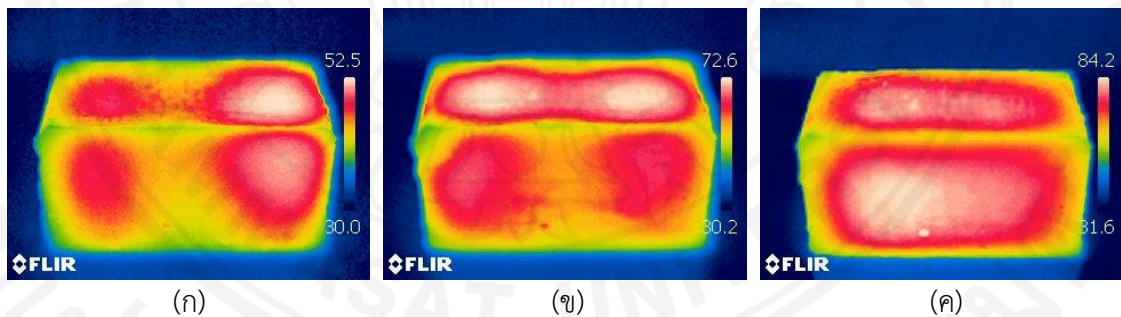
จากภาพที่ 5.14 – 5.19 แสดงการกระจายตัวของอนุภูมิภาคบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแฉกบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควิตี้ในระหว่างการบ่มที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าการบ่มซีเมนต์เพสต์ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa มีอนุภูมิภาคบริเวณผิวที่สูงกว่าการบ่มซีเมนต์เพสต์ด้วยความดันสุญญากาศ 30 kPa เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ที่เท่ากันและในระยะเวลาที่เท่ากัน เนื่องจากความดันสุญญากาศมากกว่า จะมีผลทำให้จุดเดือดสูง จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์มีอนุภูมิภาคสูงตามไปด้วย



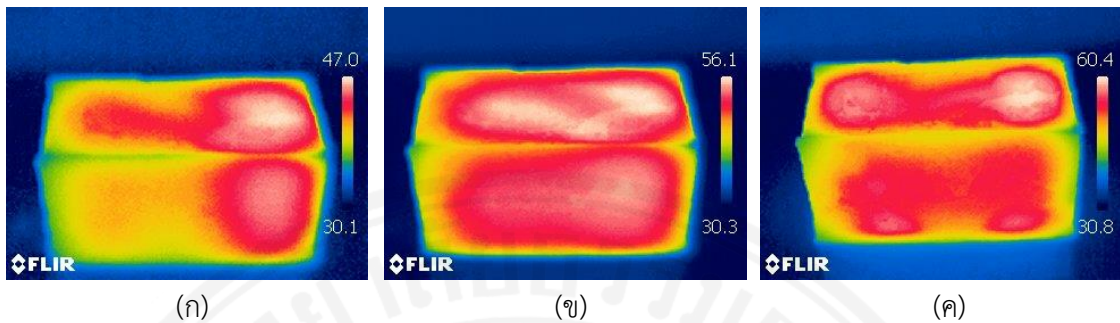
ภาพที่ 5.13 ตำแหน่งของซีเมนต์เพสต์ที่นำมาถ่ายภาพการกระจายตัวของอนุภูมิภาคบริเวณผิว



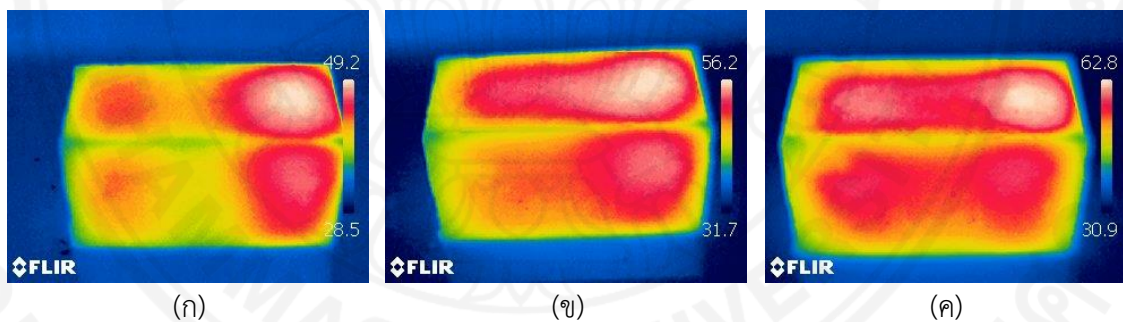
ภาพที่ 5.14 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควาวิดี ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 40 นาที (ค) 80 นาที



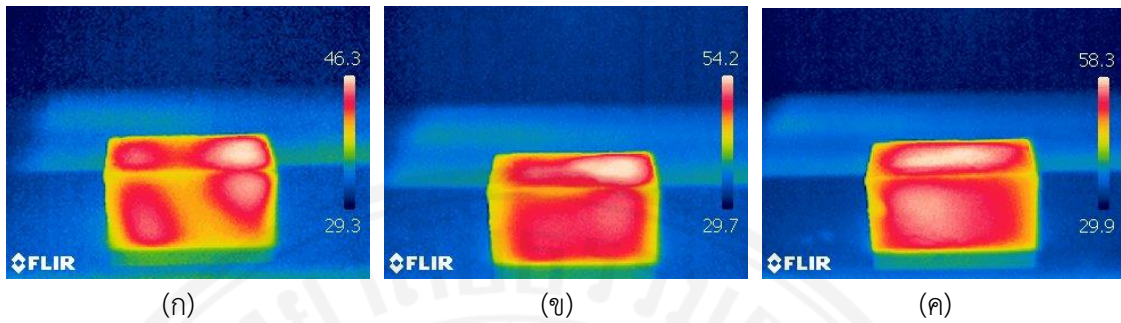
ภาพที่ 5.15 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของควาวิดี ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 40 นาที (ค) 80 นาที



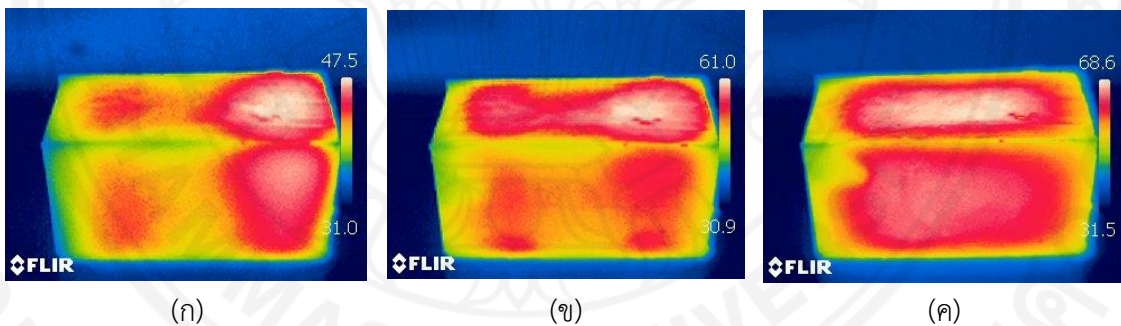
ภาพที่ 5.16 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน กึ่งกลาง ด้านหน้าของควาวิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที



ภาพที่ 5.17 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน กึ่งกลาง ด้านหน้าของควาวิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที

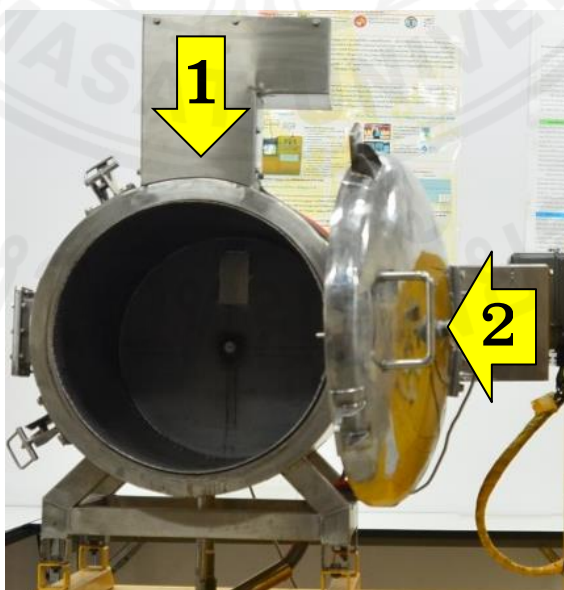


ภาพที่ 5.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน กึ่งกลาง ด้านหน้าของควาวิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.75 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 80 นาที (ค) 120 นาที

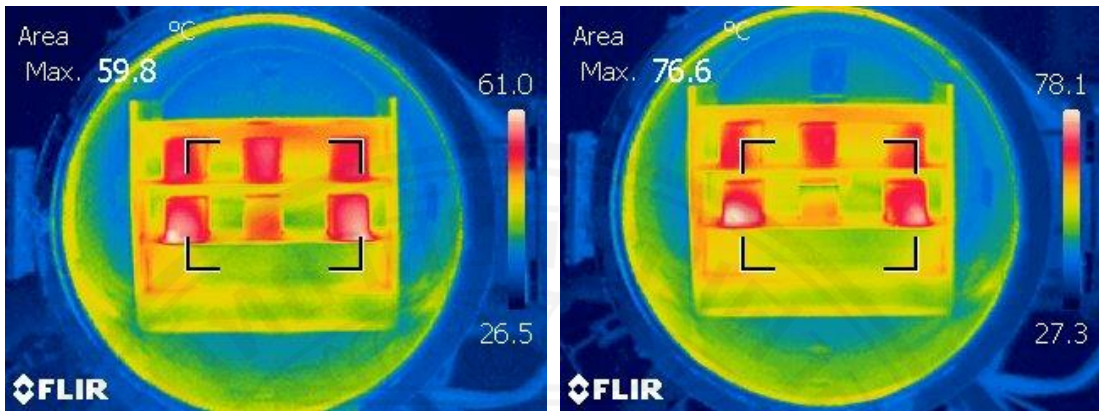


ภาพที่ 5.19 การกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวของซีเมนต์เพสต์จากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน กึ่งกลาง ด้านหน้าของควาวิตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.75 แมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 10 นาที (ข) 80 นาที (ค) 120 นาที

จากภาพที่ 5.21 – 5.26 แสดงการกระจายตัวของอนุกรมของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายในคาวีตี้ และภาพที่ 5.27 – 5.32 แสดงการกระจายตัวของอนุกรมของซีเมนต์เพสต์ ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภายนอกคาวีตี้ ในระหว่างการบ่มที่กำลังไมโครเวฟ 2 x 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 1กับ2 ความดันสูญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน และ 24 ก้อน ในระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าการบ่มซีเมนต์เพสต์ โดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 มีการกระจายตัวของอนุกรมของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ที่ทั่วถึงกว่าการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 และตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เท่ากันและในระยะเวลาที่เท่ากัน เนื่องจากในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จะอยู่ที่บริเวณด้านหน้าของคาวีตี้ ในทิศทางการป้อนคลื่นไมโครเวฟจากด้านบนลงมาด้านล่างในลักษณะแนวตั้ง จึงทำให้คลื่นไมโครเวฟที่ป้อนเข้ามานั้นถูกดูดซับจากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวบน ก้อนกลาง ด้านหน้าของคาวีตี้ก่อน จากนั้นคลื่นไมโครเวฟจึงกระจายไปที่ซีเมนต์เพสต์ก้อนซ้ายและขวาในแถวถัดมา ที่ด้านหน้าของคาวีตี้เช่นเดียวกัน ส่วนในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จะอยู่บริเวณตรงกลางของคาวีตี้ ในทิศทางการป้อนคลื่นไมโครเวฟจากด้านขวาไปทางด้านซ้ายในลักษณะแนวนอน จึงทำให้คลื่นไมโครเวฟที่ป้อนเข้ามานั้นถูกดูดซับจากซีเมนต์เพสต์ตำแหน่งแถวกลาง ก้อนขวาก่อน จากนั้นคลื่นไมโครเวฟจึงกระจายไปที่ซีเมนต์เพสต์ก้อนอื่น ๆ โดยการสะท้อนคลื่นไมโครเวฟภายในคาวีตี้ทรงกระบอก ดังนั้นในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 จึงเป็นลักษณะการป้อนคลื่นที่ดีที่สุดซึ่งลักษณะการป้อนคลื่นแบบนี้เรียกว่าแบบหลายโหมด (Multi-Mode)



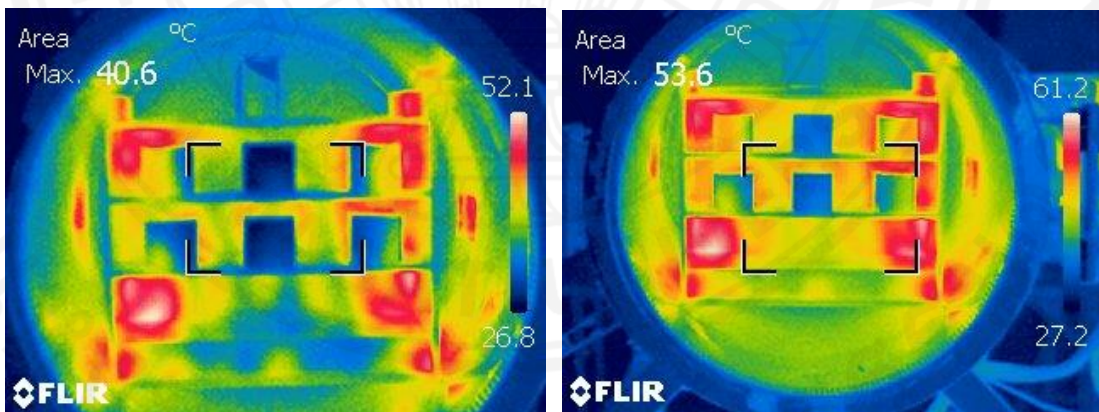
ภาพที่ 5.20 ตำแหน่งและทิศทางการป้อนคลื่นของแมกนีตรอนตัวที่ 1 และ 2



(ก)

(ข)

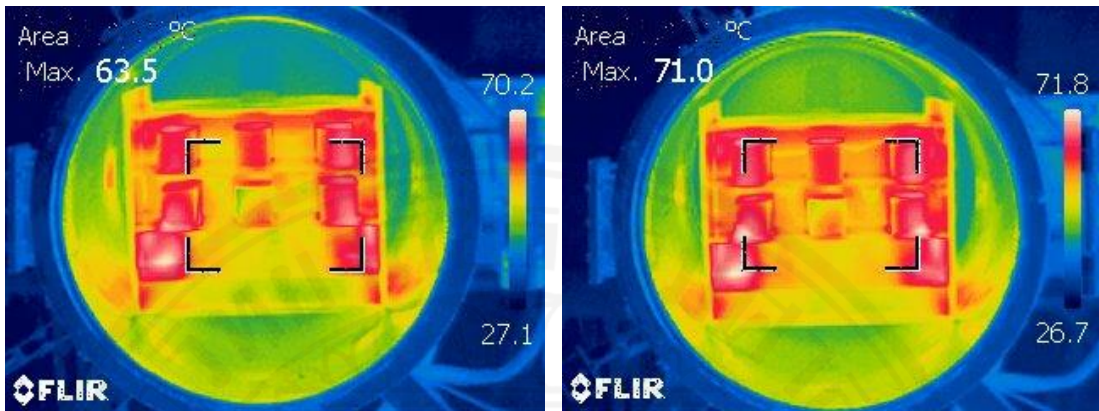
ภาพที่ 5.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสูญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

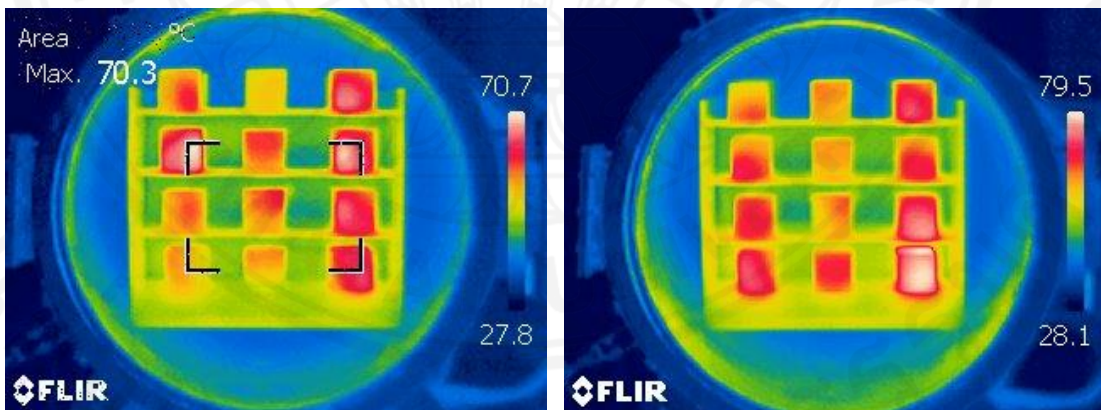
ภาพที่ 5.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิตี้ ที่ถ่ายภายในควาวิตี้ ที่ ความดันสูญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

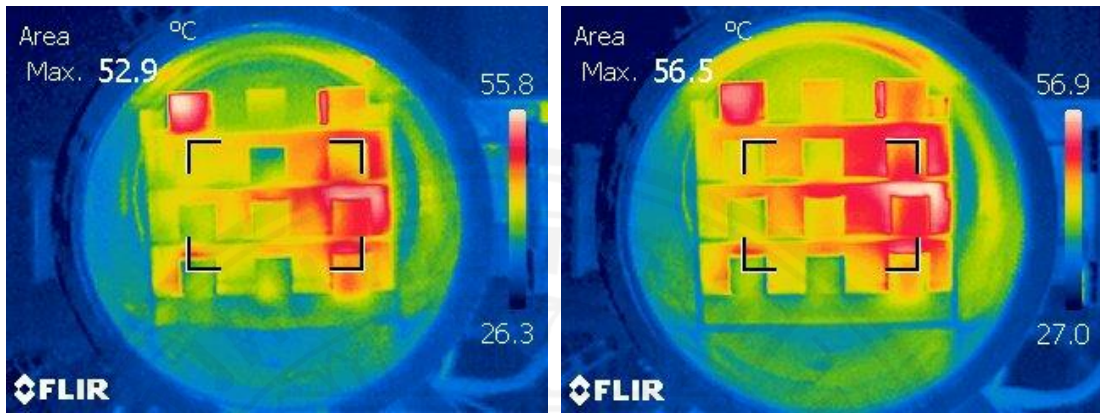
ภาพที่ 5.23 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิต้ ที่ถ่ายภายในควาวิต้ ที่ ความดันสูญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 30 นาที



(ก)

(ข)

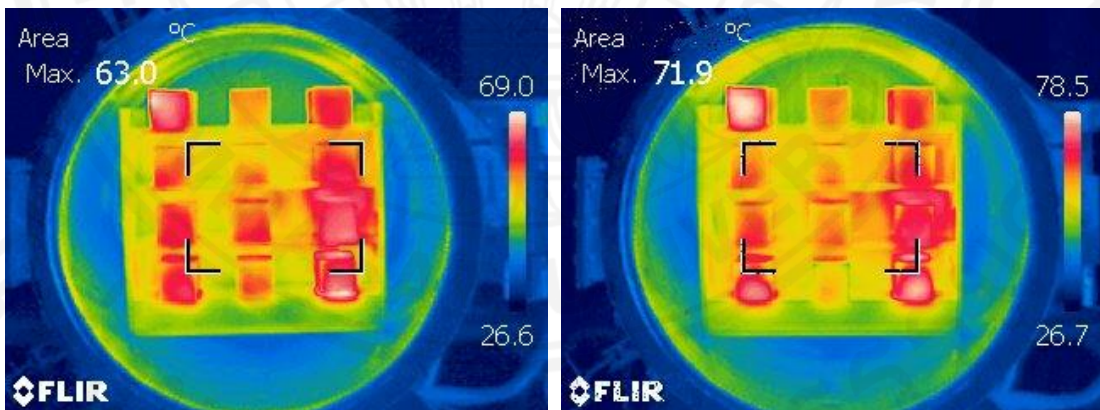
ภาพที่ 5.24 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในควาวิต้ ที่ถ่ายภายในควาวิต้ ที่ ความดันสูญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

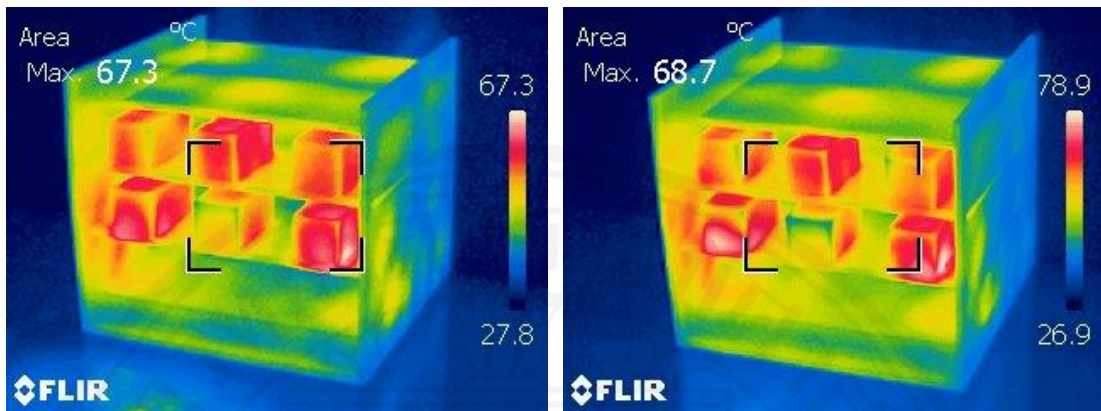
ภาพที่ 5.25 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพในคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

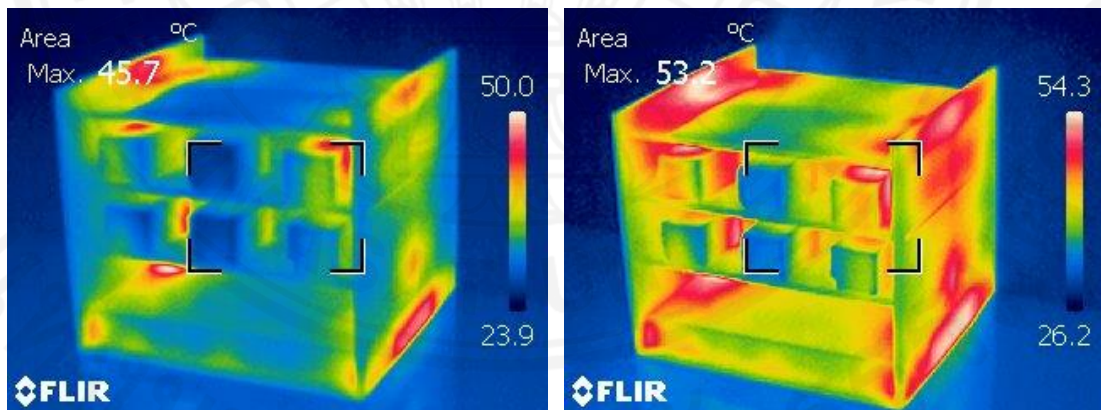
ภาพที่ 5.26 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพในคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อนูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

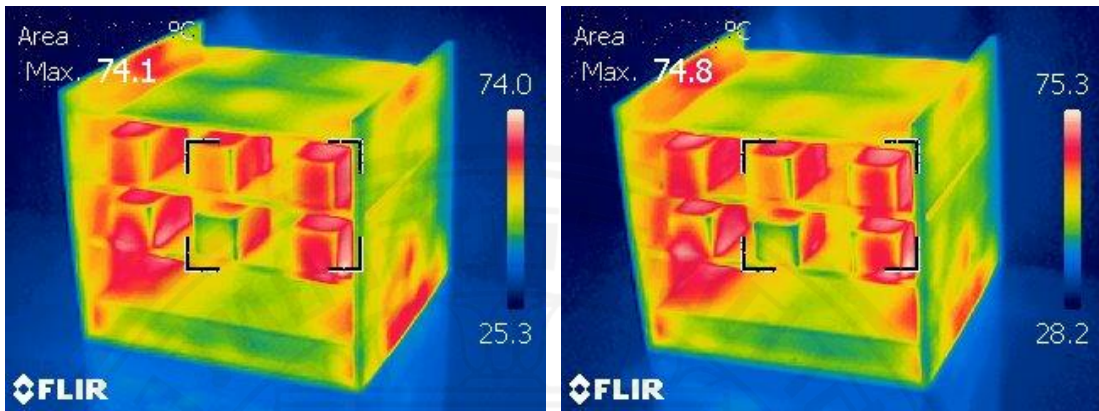
ภาพที่ 5.27 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

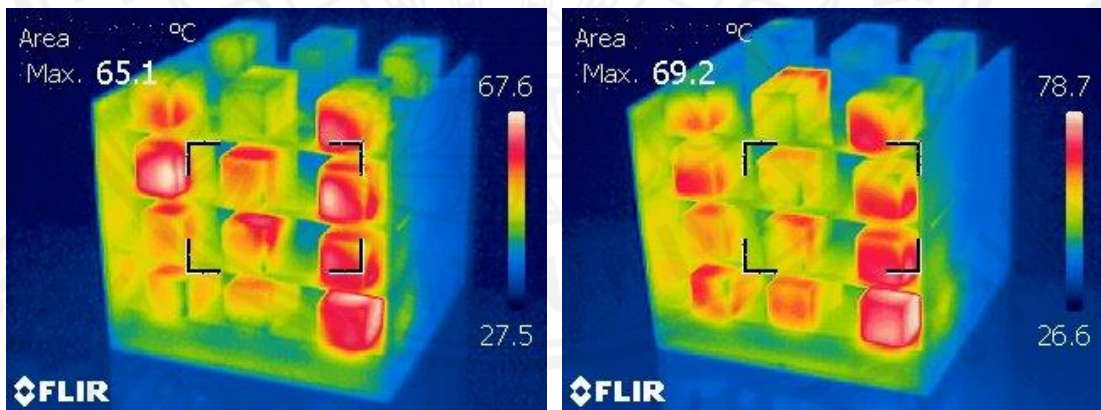
ภาพที่ 5.28 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

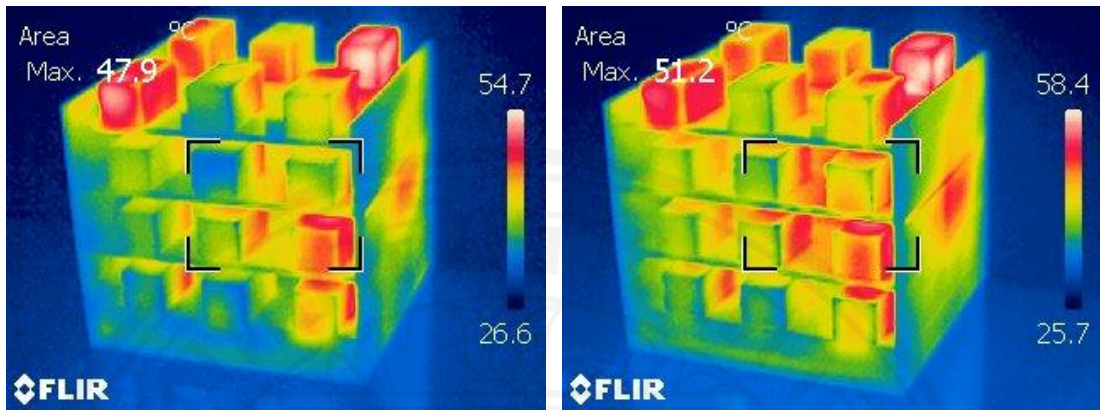
ภาพที่ 5.29 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 30 นาที



(ก)

(ข)

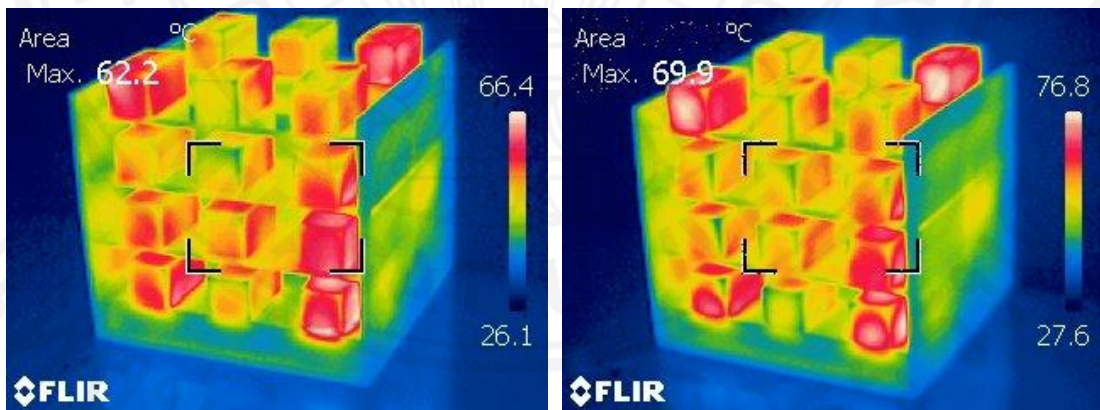
ภาพที่ 5.30 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

(ข)

ภาพที่ 5.31 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที



(ก)

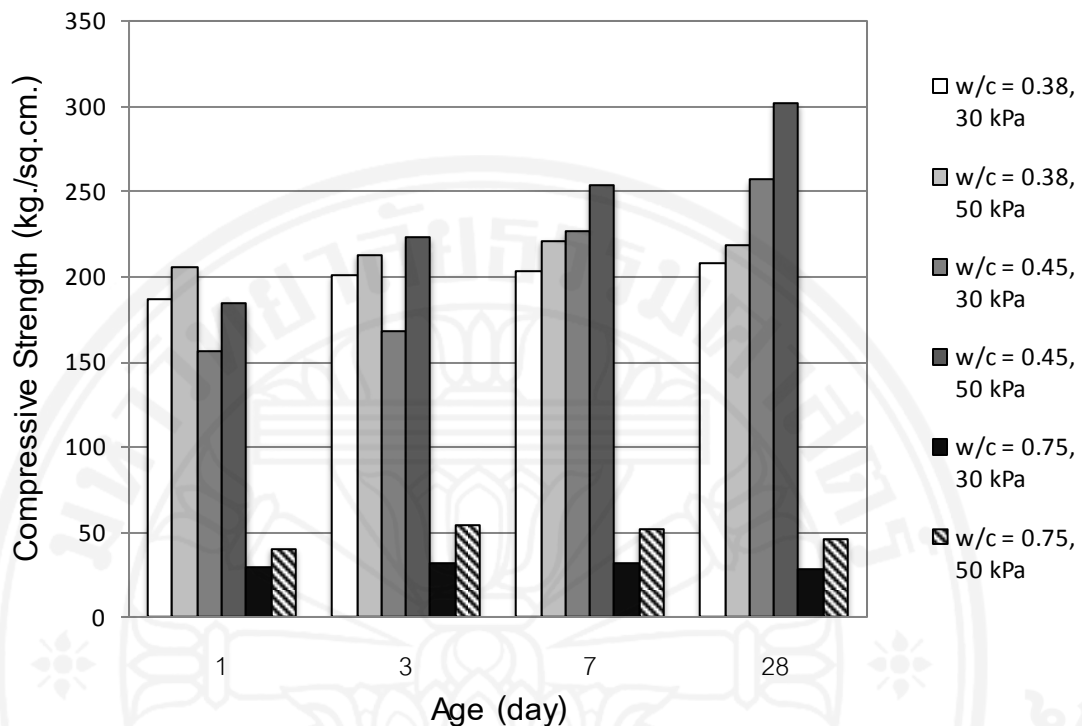
(ข)

ภาพที่ 5.32 การกระจายตัวของอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ภายในคาวีตี้ ที่ถ่ายภาพนอกคาวีตี้ ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 24 ก้อน ในเวลาที่ (ก) 20 นาที (ข) 40 นาที

5.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์

5.2.1 อิทธิพลของความดันสุญญากาศและอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ ที่ผ่านการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่าการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 1 วัน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยคือ 0.38 จะสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามากซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีพื้นฐานคอนกรีตในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 ระยะถัดไปคือการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 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 ได้พัฒนาความแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความสามารถในการรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นไปจนถึงระยะเวลาที่ 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

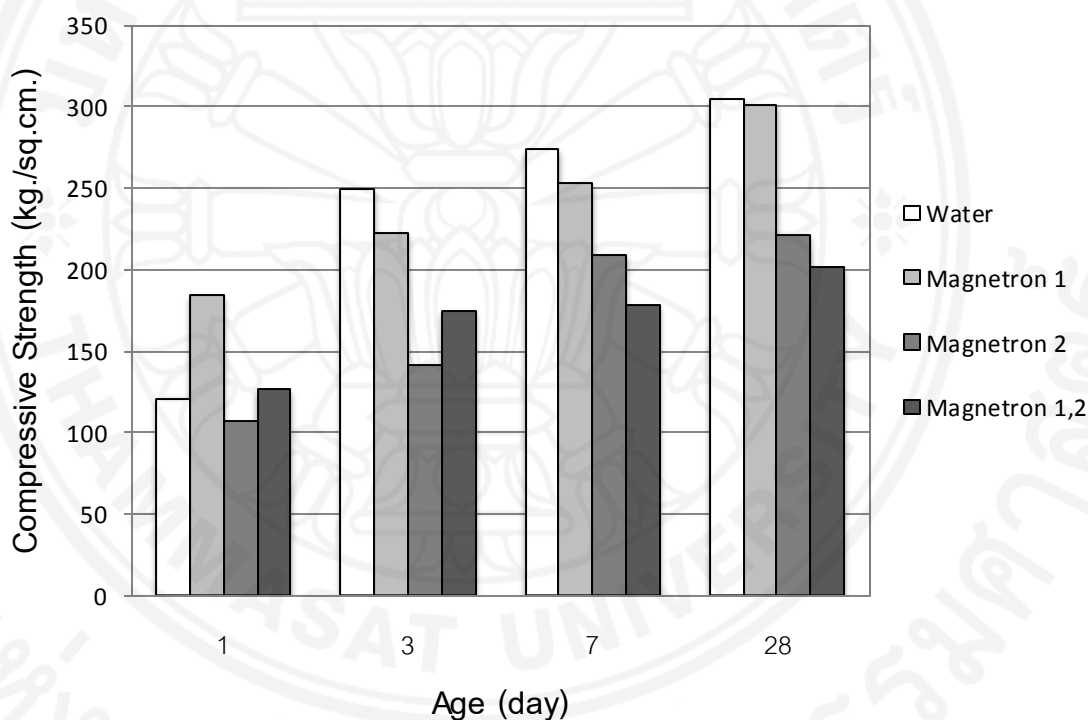


ภาพที่ 5.33 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.38 0.45 และ 0.75 ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa และ 50 kPa ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

5.2.2 อิทธิพลของตำแหน่งแมกนีตรอนที่มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.34 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1กับ2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน พบว่าการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 1 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 สามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 และ ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1กับ2 ระยะถัดไปคือการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 3 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ สามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี เมื่อนำซีเมนต์เพสต์มาบ่มด้วยน้ำจึงทำให้ความสามารถให้การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กำลังอัดในช่วงระยะเวลา 7 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ได้พัฒนาความแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความสามารถให้การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้น แต่ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการ

บ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 สามารถรับกำลังอัดได้สูงรองจากซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ไปจนถึงระยะเวลาที่ 28 วัน ซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำสามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด 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



ภาพที่ 5.34 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน

5.2.3 โครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์

จากภาพที่ 5.35-5.38 แสดงโครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ และการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 2×800 วัตต์ (W) ตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 2 และ 1 กับ 2 ความดันสุญญากาศ 50 kPa โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อนซีเมนต์ 0.45 จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า โครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำมีความสมบูรณ์มากที่สุด และโครงสร้างภายในของซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มโดยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 เกิดความเสียหายมากที่สุด



(ก)

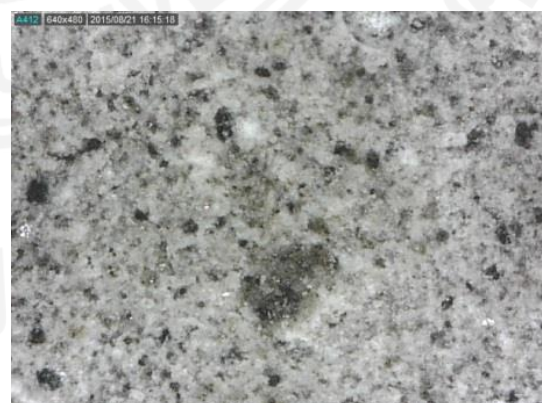


(ข)

ภาพที่ 5.35 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำ ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5.36 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 อัตราส่วนของน้ำต่อนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5.37 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 2 อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5.38 โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการบ่มด้วยการป้อนคลื่นไมโครเวฟในตำแหน่งแมกนีตรอนตัวที่ 1 กับ 2 อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 ที่ความดันสุญญากาศ 50 kPa จำนวนซีเมนต์เพสต์ 12 ก้อน ก. ภาพขยาย 50 เท่า ข. ภาพขยาย 200 เท่า

5.3 สรุปผลการทดลอง

ความดันสุญญากาศมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งก็คือความดันสุญญากาศต่ำจะส่งผลให้จุดเดือดต่ำลง ทำให้น้ำหรือความชื้นในซีเมนต์เพสต์ระเหยได้เร็ว และลดปริมาณความชื้นได้เร็วกว่าความดันสุญญากาศสูง

อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ กล่าวคือ ซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยจะมีผลทำให้อุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ที่บ่มโดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามากเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในซีเมนต์เพสต์ นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ยังมีผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัด นั่นก็คืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าน้อยคือจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่ามาก แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ใกล้เคียงกัน

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

5.4 แนวทางการวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยศึกษาการบ่มซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสองตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ พบประเด็นที่น่าสนใจมากมายในการวิจัยและสามารถพัฒนาเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

1. การศึกษาถึงลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องในงานวิจัยนี้ไมโครเวฟ
2. การศึกษาถึงรูปแบบการจัดวางซีเมนต์เพสต์ภายในภาชนะ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการดูดซับคลื่น
3. การศึกษาถึงขนาดของซีเมนต์เพสต์ที่แตกต่างไปจากวิจัยนี้ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ต่อการบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ

บรรณานุกรม

- [1] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช พื้นฐานการทำไมโครเวฟ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2008)
- [2] กัสตุรี เจ๊ะนิ การพัฒนาเครื่องต้นแบบด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ (2009)
- [3] A. E. Drouzas & H. Schubert (1996) "Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits" *Journal of Food Engineering* 28 (1996) 203-209
- [4] A.E. Drouzas, E. Tsami and G.D. Saravacos (1999) "Microwave/vacuum drying of model fruit gels" *Journal of Food Engineering* 39 (1999) 117-122
- [5] N. Suwannapum and P. Rattanadecho et al. (2008) "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
- [6] N. Makul, B. Chatveera and P. Ratanadecho (2009) "Use of microwave energy for accelerated curing of concrete: a review" *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 31 (1), P. 1-13, Jan. - Feb. 2009
- [7] Adam Figiel (2010) "Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods" *Journal of Food Engineering* 98 (2010) 461-470
- [8] N. Makul and P. Rattanadecho et al. (2010) "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* 37 (2010) 1487-1495
- [9] N. Makul and P. Rattanadecho et al. (2010) "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* 37 (2010) 1096-1105
- [10] Angel A. Carbonell-Barrachina et al. (2011) "Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying" *Journal of Food Engineering* 103 (2011) 219-227

- [11] W. Jindarat , S. Sungsoontorn & P. Rattanadecho (2013) “Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Biomaterials Using a Combined Unsymmetrical Double-Feed Microwave and Vacuum System (CUMV), Case Study: Tea Leaves” *Drying Technology*, 31: 1138–1147 ,2013
- [12] K. Chaiyo and P. Rattanadecho (2013) “Numerical Analysis of Heat–Mass Transport and Pressure Build-Up in 1D Unsaturated Porous Medium Subjected to a Combined Microwave and Vacuum System” *Drying Technology*, 31: 684–697, 2013
- [13] N. Makul, P. Rattanadecho and Dinesh K. Agrawal (2014) “Applications of microwave energy in cement and concrete – A review” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37 (2014) 715–733
- [14] Manish Dak and N.K. Pareek (2014) “Effective moisture diffusivity of pomegranate arils undergoing microwave-vacuum drying” *Journal of Food Engineering* 122 (2014) 117–121

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายศิระ เลิศวิริยจิตต์
วันเดือนปีเกิด	19 สิงหาคม พ.ศ. 2532
ผลงานทางวิชาการ	ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตรมหาสารคาม ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม เรื่อง “การวิเคราะห์การอบแห้งและศึกษาคุณสมบัติของ ซีเมนต์เพสต์โดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นสอง ตำแหน่งแบบไม่สมมาตรร่วมกับระบบสุญญากาศ”

