คอนกรีตกำลังสูงผสมด้วยเถ้าจากวัสดุชีวมวลบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ
Hight Strength Concrete Mixed Ashes from Biomass Materials Using Microwave Curing

ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล[1]*
ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน[1]
รัฐศักดิ์ พรหมมาศ[2]

*[1]*สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล*
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
**Corresponding Author. E-mail: thaweesak.run@rmutr.ac.th*
(Received: May 7, 2018; Revised: June 11, 2018; Accepted: June 22, 2018)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบ่มคอนกรีตกำลังสูง ที่ใช้เถ้าจากวัสดุชีวมวลเป็นส่วนผสม โดยทำการบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อทำให้เกิดความร้อนและมีการถ่ายเทมวลออกจากคอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลเฉพาะกำลังอัด โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลเฉพาะกำลังอัดกับการบ่มคอนกรีตกำลังสูงด้วยวิธีธรรมชาติที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มที่อายุ 28 วัน จากการศึกษาการรับกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงพบว่า เมื่อใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังวัตต์สูงจะใช้เวลาในการบ่มน้อยกว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ต่ำ โดยที่คลื่นไมโครเวฟกำลังสูงจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟที่กำลังต่ำ ซึ่งเกิดอัตราการถ่ายเทมวลที่เหมาะสม

คำสำคัญ: การบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟ คอนกรีตกำลังสูง วัสดุชีวมวล

Abstract : This research is a study of high strength concrete by using a mixture of ashes from biomass materials, cured with a microwave to build up heat in side and mass transfer from the concrete. The objective of this study to explained mechanical properties, particularly compression strength of concrete. To compare the mechanical properties of concrete with a compressive high strength of natural curing time at 28 days. The study of physical properties and compressive strength of high strength concrete was found that. Curing of concrete using microwave at high power is required to take time to curing than the low watt microwave.

Keywords: Microwave Curing, High Strength Concrete, Biomass Materials

1. บทนำ

คอนกรีตกำลังสูงมีบทบาทในวงการก่อสร้างของไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่นิยมก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้คอนกรีตกำลังสูงสำหรับเทเสาอาคารหรือในงานโครงสร้างอื่นๆ ที่ต้องการความแข็งแกร่งหรือโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษเพื่อให้ได้ขนาดของโครงสร้างที่เล็กกว่าการใช้คอนกรีตกำลังปกติ ดังนั้น การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงให้มีคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังอัดที่สูงขึ้นและมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดีที่สุดโดยมีระยะเวลาในการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่สั้นลง โดยปกติหากยึดตามมาตรฐานการใช้งานคอนกรีตจะต้องมากกว่า 24 ชั่วโมงในการพัฒนาคุณสมบัติ ดังนั้น การลดระยะเวลาในการพัฒนากำลังรับแรงอัดจึงมีความสำคัญ แต่ด้วยเทคโนโลยีการบ่มเร่งกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงในช่วงต้นด้วยวิธีต่างๆ ในปัจจุบันนั้นมีข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น การบ่มคอนกรีตโดยเพิ่มความชื้น มีข้อเสีย คือ มักจะเกิดรอยร้าวของดินเหนียวที่นำมาใช้และต้องทำความสะอาดผิวหน้าคอนกรีตหลังบ่มเสร็จและการบ่มด้วยการเร่งกำลังโดยใช้ไอน้ำให้ความชื้นและความร้อนในการบ่มคอนกรีตซึ่งมีข้อเสีย คือ เวลาที่ใช้บ่มต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงและคอนกรีตมีการแปรผันของคุณสมบัติมากเนื่องจากการกระจายความร้อนในคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้ในการเร่งกำลังอัดในช่วงต้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเนื่องจากพลังงานไมโครเวฟมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงและมีการกระจายความร้อนสม่ำเสมอแต่เนื่องจากองค์ความรู้ทางด้านการประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นไปที่การหาความสัมพันธ์เชิงเวลาและเปรียบเทียบกำลังอัดที่ได้จากการทดลองเป็นหลักส่วนกลไกพื้นฐานของการถ่ายเทมวลสารและความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้พลังงานความร้อนกับคอนกรีตนั้นยังไม่มีการศึกษาทดลองจึงเกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาการบ่มคอนกรีตกำลังสูงด้วยเตาอบไมโครเวฟ ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนได้ คลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่วัสดุจากทุกทิศทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายสู่วัสดุเมื่อคลื่นไปกระทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นและเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็วและรักษาคุณภาพของวัสดุไว้ได้อย่างครบถ้วนซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นของคลื่นไมโครเวฟ แนวคิดที่จะศึกษาการบ่มคอนกรีตกำลังสูงด้วยความร้อนในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังอัดที่ดีขึ้นและลดระยะเวลาในการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตโดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคุณสมบัติทางกลในด้านกำลังอัด และคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตกำลังสูง [1]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมวัสดุชีวมวลจากการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมวัสดุชีวมวลจากการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟและเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของวัสดุชีวมวลในสัดส่วนต่างๆ และกำลังไมโครเวฟที่ใช้บ่มคอนกรีต

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จตุวุฒิ สินตาวิสุทธิ์ (2547) [2] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงตามเป้าหมายที่ อายุ 24 ชั่วโมง โดยเลือกกำลังรับแรงอัดให้อยู่ในช่วง 400-600 ksc และคอนกรีตสดมีค่าการยุบตัวไม่น้อยกว่า 5 cm โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซิลิกาฟูม หินบะซอลท์ขนาด 3/8 นิ้ว ทรายแม่น้ำ สารลดน้ำพิเศษประเภท F การทดสอบใช้ส่วนผสมพื้นฐาน 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ 4 ค่า ระหว่าง 0.24 – 0.45 ซึ่งพบว่า กำลังรับแรงอัดช่วง 400-600 ksc ที่อายุ 24 ชั่วโมง สามารถใช้ส่วนผสมต่อลูกบาศก์เมตรที่ประกอบด้วย

ปูนซีเมนต์ 580 kg ซิลิกาฟูม 65 kg (11.21% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์) สารลดน้ำพิเศษ 18 kg (3.10% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์) หิน 980 kg และปรับทรายตามปริมาณน้ำ ผลการทดสอบสามารถแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ 5 กราฟ จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอ่านค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต้องการได้ โดยกำลังรับแรงอัดที่ 400 ksc ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.312 และปรับทรายเป็น 590 kg/m^3 และกำลังรับแรงอัดที่ 600 ksc ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.26 และปรับทรายเป็น 680 kg/m^3

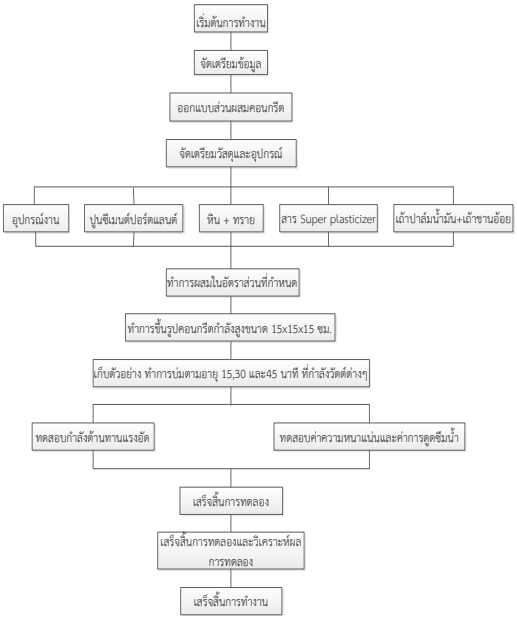
อภิเดช หล้าปัน (2547) [3] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงที่อายุ 24 ชั่วโมง โดยใช้ซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำ หิน สารลดน้ำพิเศษประเภท F สารเร่งการก่อตัวประเภท C การทดสอบใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.16 0.18 และ 0.20 การบ่มคอนกรีตใช้การบ่มด้วยน้ำและ การบ่มด้วยไอน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม 18 19 และ 20 ชั่วโมง หลังจากแกะแบบที่อายุ 5 4 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับซึ่งจากการทดสอบพบว่าที่อัตราส่วนผสมที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.20 ซิลิกาฟูม 23 เปอร์เซ็นต์ใช้สารลดน้ำพิเศษ 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้สารเร่งการก่อตัว 1.5 เปอร์เซ็นต์และบ่มด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง จะทำให้กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมงสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 1,044 ksc

ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ (2550) [4] ได้ทำการศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องโดยทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารที่เกิดขึ้น ระหว่างการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟและการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่เกิดขึ้นผลที่ได้ นำไปเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งผ่านการบ่มในน้ำและอากาศโดย ตัวแปรที่ใช้คือ จำนวนแมกนีตรอน (กำลังวัตต์) ระยะเวลาในการบ่มและสัดส่วนผสมของคอนกรีตซึ่งเกิดจากองค์ประกอบ ระหว่างซีเมนต์ น้ำ ทราย และหิน นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลของปริมาณอากาศและสารผสมเพิ่มชนิด สารหน่วงการก่อตัว ผลการศึกษาพบว่า พลังงานไมโครเวฟสามารถช่วยเร่งพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

พงศธร จันทร์ตรี (2552) [5] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าชานอ้อยโดยศึกษากำลังอัด กำลังดึง โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมและอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยซึ่งมีค่า W/B เท่ากับ 0.5 และ 0.3 ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตกำลังปกติและกำลังสูงได้ โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานสามารถพัฒนากำลังอัด กำลังดึง โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมให้มีค่ากำลังสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุตั้งแต่ 7 วัน ส่วนอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานส่งผลให้ค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน ทั้งนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานส่งผลให้ค่ากำลังอัดและกำลังดึงมีค่าสูงสุด

4. วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้นี้มุ่งศึกษาถึงการบ่มคอนกรีตกำลังสูงด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ใช้วัสดุชีวมวลในการผสมโดยมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำพลังงานความร้อนแต่ละความร้อนคือ กำลังวัตต์มาใช้ในการบ่มคอนกรีตกำลังสูงและของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชนมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงโดยการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การจัดเตรียมวัสดุ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต การทดสอบกำลังอัด และการดูดซึมของน้ำ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

และได้มีการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงไว้ที่ 450 ksc ของส่วนผสมการออกแบบคอนกรีตกำลังอัดสูง ตามมาตรฐาน ACI 211.4R [6] ที่ไม่ใช้วัสดุชีวมวลแทนที่ซีเมนต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงไว้ที่ 450 กก/ซม.2 ของส่วนผสมการออกแบบคอนกรีตกำลังสูง ตามมาตรฐาน ACI 211.4R [6]

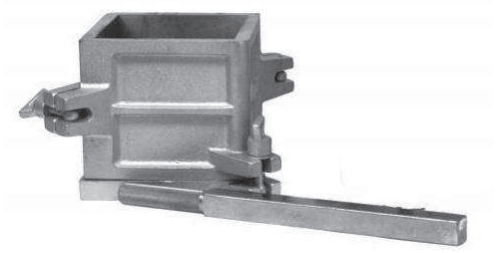
รายการ	ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูง (kg /m^3)						
	ปูนซีเมนต์	เถ้าปาล์มน้ำมัน	เถ้าชานอ้อย	หิน	ทราย	น้ำ	สารลดน้ำพิเศษ
ส่วนผสมพื้นฐาน	563.33	0	0	1166.4	524.0	169	13.52
สัดส่วนที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันกับเถ้าชานอ้อยตามสัดส่วนต่างๆ							
5:15	450.664	28.167	84.499	1166.40	524.0	169	13.52
10:10	450.664	56.33	56.33	1166.40	524.0	169	13.52
15:5	450.664	84.499	28.167	1166.40	524.0	169	13.52

4.1 การจัดเตรียมข้อมูล

เพื่อให้งานวิจัยมีผลการทดสอบที่สมบูรณ์ขึ้น โดยทางผู้วิจัยกำหนดใช้ส่วนผสมต่างๆ สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีต ซึ่งแสดงในตารางที่ 1

4.1.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้

- แบบหล่อคอนกรีต ขนาด 15x15x15 ซม. ดังภาพที่ 2

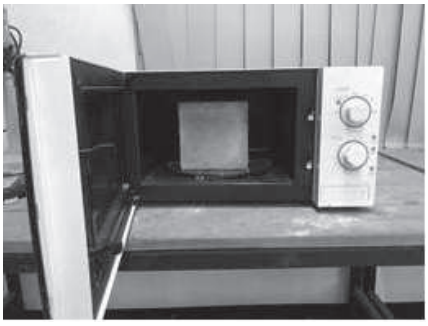


ภาพที่ 2 แบบหล่อคอนกรีต

- เครื่องทดสอบการรับกำลังอัดขนาด 200 Ton Model STS-C905V ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

- เตาอบไมโครเวฟ Samsung กำลังวัตต์ 1150 Watts Model ME711K ใช้สำหรับบ่มคอนกรีตขนาด 15x15x15 ซม. ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เตาอบไมโครเวฟ

4.1.2 ทำการผสมคอนกรีตตามสัดส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงที่ได้ออกแบบไว้ในตารางที่ 1 ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 การผสมคอนกรีต

4.1.3 แกะแบบหล่อคอนกรีต แล้วนำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิปกติที่อายุ 28 วัน และนำคอนกรีตไปบ่มที่ระยะเวลา 90 120 และ 150 นาที โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 450 720 และ 900 Watts ตามลำดับ ด้วยเตาอบไมโครเวฟ ดังรูปที่ 4

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 วิเคราะห์หาความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม โดยใช้สมการ

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (g/cm^3) \qquad (1)$$

โดยที่

ρ คือความหนาแน่นของวัตถุมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm3)

M คือมวล (Mass) หรือน้ำหนักที่แห้ง มีหน่วยเป็นกรัม (g)

V คือปริมาตร (Volume) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ $\frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\%$ (2)

เมื่อเปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำแทนค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Absorption)

W_1 คือน้ำหนักอิฐที่แห้ง มีหน่วยเป็นกรัม (g)

W_2 คือน้ำหนักอิฐที่ดูดซึมน้ำ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

4.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะที่ต้องการด้านลักษณะทั่วไปและความต้านทานแรงอัดใช้สถิติในการหาความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย โดยใช้สูตร

$$F = \frac{P}{A} \qquad (kg/cm^2) \qquad (3)$$

เมื่อ

F คือความต้านทานแรงอัด, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

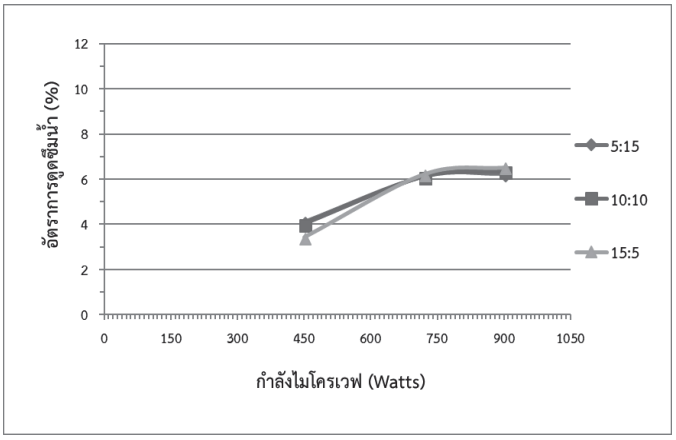
P คือแรงอัดที่ทำให้ชิ้นทดสอบวิบัติ, กิโลกรัม (kg)

A คือพื้นที่รับแรงอัด, ตารางเซนติเมตร (cm^2)

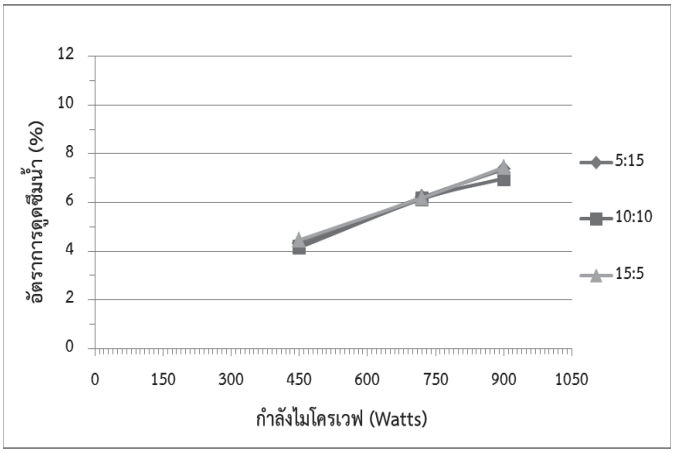
5. ผลการศึกษา

การทดสอบคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของวัสดุชีวมวลครั้งนี้ได้ทำการศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูงจากการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแล้วนำมาเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งได้ทำการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต โดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ทรายหยาบโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 ใช้หินขนาด 3/4 นิ้ว และใช้เถ้าปาล์มน้ำมันกับเถ้าชานอ้อยแทนที่ซีเมนต์ด้วยสัดส่วนร้อยละ 5 10 และ 15 ตามลำดับ โดยน้ำหนักของวัสดุประสานซึ่งกำหนด Water Cement Ratio (w/c) เท่ากับ 0.35 เมื่อขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วนำคอนกรีตมาบ่มที่ระยะเวลา 90 120 และ 150 นาที โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 450 720 และ 900 Watts ที่ได้จากการบ่มด้วยเตาอบไมโครเวฟ มาเปรียบเทียบกับคอนกรีตมาตรฐานที่ไม่ใช้วัสดุชีวมวลแทนที่ซีเมนต์ โดยใช้วิธีการบ่มในน้ำที่อายุ 28 วัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

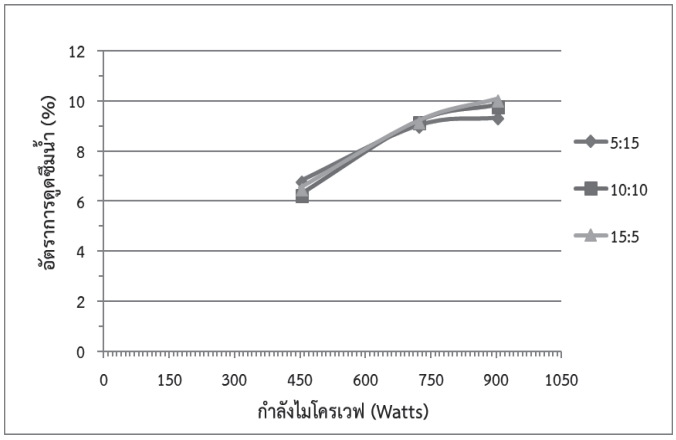
ผลการทดสอบการหาปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตกำลังสูงด้วยไมโครเวฟ ที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 ภาพที่ 7 และภาพที่ 8 ดังนี้



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบกับระยะเวลาในการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟที่ระยะเวลา 90 นาที



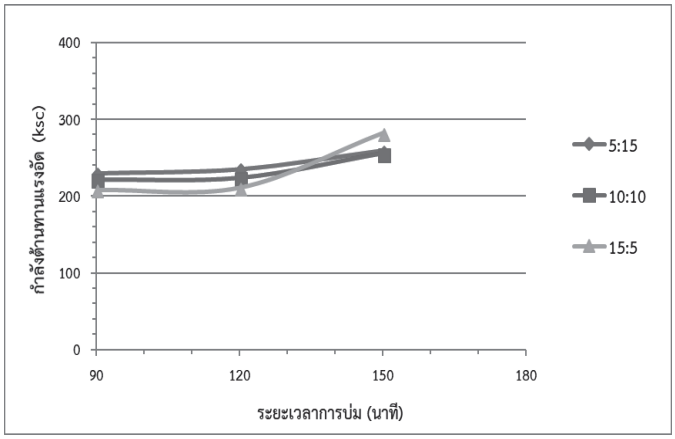
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบกับระยะเวลาในการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟ 120 นาที



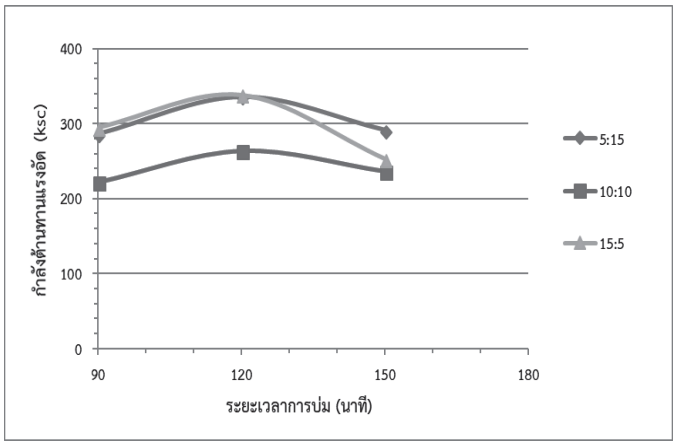
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบกับระยะเวลาในการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟ 120 นาที

จากภาพที่ 6 ภาพที่ 7 และภาพที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบกับระยะเวลาการบ่มด้วยกำลังไมโครเวฟต่างๆ โดยมีสัดส่วนผสม 5:15 10:10 และ 15:5 (เถ้าปาล์มน้ำมัน:เถ้าชานอ้อย) ตามลำดับ และใช้กำลังไมโครเวฟ 450 750 และ 900 Watts จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่ม 120 นาที สัดส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าชานอ้อย ทั้งสามสัดส่วนผสมมีแนวโน้มที่ร้อยละของการดูดซึมน้ำของคอนกรีตใกล้ เคียงกัน และเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มมากขึ้น ปริมาณร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตก็ยิ่งมากขึ้นด้วย ซึ่งสัดส่วนผสม 15:5 มีร้อยละการดูดซึมน้ำมากที่สุด ที่กำลังไมโครเวฟ 450 720 และ 900 Watts และสัดส่วนผสม 5:15 และ 10:10 มีร้อยละการดูดซึมน้ำค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากค่าร้อยละการดูดซึมน้ำนั้นจะส่งผลให้ทราบว่าสัดส่วนผสม 15:5 เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นที่ระเหยหลังจากการบ่มมาก ซึ่งปริมาณความชื้นภายในตัวอย่างคอนกรีตน้อยลงและคุณสมบัติทางกายภาพของปาล์มจะมีรูปร่างกลมติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อนและขนาดไม่เท่ากัน จึงทำให้เมื่อใช้ส่วนผสมเถ้าปาล์มในปริมาณที่มากกว่าก็จะทำให้ตัวอย่างคอนกรีตเกิดช่องว่างและความพรุนภายในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น จึงส่งผลทำให้มีปริมาณร้อยละการดูดซึมน้ำสูง และถ้าหากตัวอย่างคอนกรีตมีปริมาณร้อยละการดูดซึมน้ำสูงก็จะส่งผลให้คอนกรีตรับกำลังต้านทานแรงอัดได้น้อยลงด้วยเช่นกัน

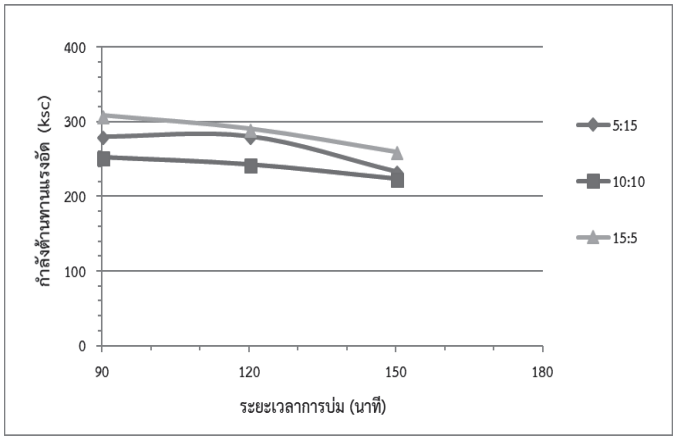
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มด้วยเตาเอบไมโครเวฟ ตามกำลังวัตต์และระยะเวลาการบ่ม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9 ภาพที่ 10 และภาพที่ 11 ดังนี้



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดและระยะเวลาของการบ่มด้วยไมโครเวฟ (450 Watts)



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดและระยะเวลาของการบ่มด้วยไมโครเวฟ (720 Watts)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดและระยะเวลาของการบ่มด้วยไมโครเวฟที่ 900 Watts

จากภาพที่ 9 ภาพที่ 10 และภาพที่ 11 จะเห็นว่า เมื่อทำการบ่มคอนกรีตด้วยเตาอบไมโครเวฟ ที่กำลัง 450 720 และ 900 Watts ตามลำดับ และระยะเวลาการบ่มเริ่มต้นที่ 90 120 และ 150 นาที ตามลำดับ จากสัดส่วนผสมที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าชานอ้อยแทนที่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีสัดส่วนผสมที่ใช้แท่นที่คือ 5:15 10:10 และ 15:5 (เถ้าปาล์มน้ำมัน:เถ้าชานอ้อย) จะพบว่า ที่สัดส่วนผสม 15:5 มีกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 282.27 kg/cm^2 ที่ใช้กำลังไมโครเวฟ 450 Watts และใช้เวลาในการบ่ม 150 นาที เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟ 720 Watts จะเห็นว่า สัดส่วนผสม 15:5 จะมีกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 338.10 kg/cm2 โดยใช้เวลา 120 นาที และเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟ 900 Watts ที่สัดส่วนผสม 15:5 จะมีกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 310 kg/cm^2 โดยใช้เวลา 90 นาที จากกราฟทั้งสามสามารถเห็นได้ว่า ที่กำลังไมโครเวฟ 720 Watts ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 120 นาที พบว่า คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟต่ำการทำงานของคลื่นไมโครเวฟที่ทำให้เกิดความร้อนภายในความชื้นของคอนกรีต กลายเป็นพลังงานความร้อนและเกิดการระเหยออกมาอย่างช้าๆ ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จึงทำให้สามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตได้ดี แต่เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟมากกว่า 720 Watts และระยะเวลาในการบ่มมากกว่า 120 นาทีขึ้นไป จะทำให้คอนกรีตรับกำลังต้านทานแรงอัดได้น้อยลงอย่างรวดเร็ว โดยส่งผลมาจากการทำงานของคลื่นไมโครเวฟที่ทำให้เกิดความร้อนภายในความชื้นในคอนกรีตกลายเป็นพลังงานความร้อนและเกิดการระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ทำให้ลักษณะภายนอกของคอนกรีตที่ทดสอบเกิดการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าของคอนกรีต ที่เกิดจากการระเหยของความชื้นในคอนกรีตมีปริมาณมากเกินไปส่งผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และส่งผลทำให้คอนกรีตรับกำลังต้านทานแรงอัดได้น้อยลง

6. สรุปและอภิปรายผล

การบ่มคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของวัสดุชีวมวลที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อต้องการหาอัตราส่วนผสมระยะเวลาในการบ่มและกำลังวัตต์ที่เหมาะสมที่สามารถทำให้ก้อนคอนกรีตรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีที่สุด โดยจะนำค่าที่ได้จากการทดสอบการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ระยะเวลาและกำลังวัตต์ต่างๆ มาเปรียบเทียบกับการบ่มในน้ำที่ 28 วัน โดยที่ก้อนคอนกรีตจะต้องมีค่ากำลังต้านทานรับแรงอัด 450 กก/ซม.2 ขึ้นไปสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบและกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการบ่มก้อนคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของวัสดุชีวมวลโดยการนำเอาพลังงานไมโครเวฟมาใช้เป็นการควบคุมความชื้นในก้อนคอนกรีตตามเวลาและวัตต์ที่ทำการทดสอบ พบว่า อัตราส่วนผสมเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 15 ต่อ เถ้าชานอ้อยร้อยละ 5 โดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 720 Watts ที่ระยะเวลาในการบ่ม 120 นาที เป็นสัดส่วนผสมคอนกรีต และเป็นระยะเวลาในการบ่มที่ดีและเหมาะสมโดยที่มีค่าของกำลังต้านทานแรงอัดได้สูงสุดเท่ากับ 338.10 kg/cm^2 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วน

ผสมในการออกแบบคอนกรีตกำลังอัดสูง ตามมาตรฐาน ACI 211.4R ที่ไม่ใช้วัสดุชีวมวลแทนที่ซีเมนต์ โดยทำการบ่มในน้ำที่ระยะเวลา 28 วัน มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 487.64 kg/cm^2 มีร้อยละการดูดซึมน้ำจากการทดสอบการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ จะได้ค่าร้อยละการ ดูดซึมน้ำมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 10.06 ที่ใช้สัดส่วนผสม 15:5 โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ 150 นาที และใช้กำลังไมโครเวฟ 900 Watts ส่วนการบ่มในน้ำที่อายุ 28 วัน มีปริมาณการดูด ซึมน้ำร้อยละ 3.61 ซึ่งการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟในการทดสอบมีร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงมากกว่า เนื่องจากการนำพลังงานไมโครเวฟเข้ามาไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างของคอนกรีตในระยะเวลาที่รวดเร็วจะส่งผลต่อปริมาณซีเมนต์กับน้ำ คือปริมาณความชื้นในวัสดุน้อยจนไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Heat of Hydration) และวัสดุชีวมวลที่ใช้เป็นส่วนผสมเถ้าปาล์มน้ำมันกับเถ้าชานอ้อยจะต่างกัน โดยที่เท่าปาล์มจะมีรูปร่างกลมติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อนและขนาดไม่เท่ากัน แต่เถ้าชานอ้อยจะมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมไม่แน่นอนทำให้คอนกรีตเกิดช่องว่างและความพรุนสูงภายในเนื้อคอนกรีตมาก เมื่อนำมาทดสอบด้วยการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ให้ความร้อนจากภายในวัสดุซึ่งมีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งปริมาณคอนกรีตโดยที่ความชื้นที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตถูกไล่ออกโดยการแทรกตัวตามช่องว่างภายในออกสู่ผิวคอนกรีต ส่งผลให้ตัวอย่างคอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวเล็กๆ ภายในโครงสร้างมีผลต่อการดูดซึมน้ำที่มาก และกำลังต้านทานแรงอัดที่ต่ำแต่พลังงานไมโครเวฟก็สามารถควบคุมความชื้นในตัวอย่างคอนกรีตและสามารถเร่งกำลังต้านทานการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตเพิ่มขึ้นได้ในช่วงต้น โดยควบคุมที่ระยะเวลาและกำลังวัตต์เป็นสำคัญ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

8. บรรณานุกรม

(1) Prinya, C., Chai, J. (2009). Cement Pozzolan and Concrete. Concrete Association. Bangkok.

(2) จตุวุฒิ สินตาวิสุทธิ์ และคณะ. 2547. การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงตามเป้าหมายที่อายุ 24 ชั่วโมง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

(3) อภิเดช หล้าปัน และคณะ. 2547. การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

(4) ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ และคณะ. 2550. การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง. หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต).

(5) พงศธร จันทร์ตรี. 2552. การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าชานอ้อย. ปริญญานิพนธ์ (เทคโนโลยีโยธา). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

(6) American Society for Testing and Materials, (2015) "ASTM C618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, Vol. 04.02, pp. 1-5.