



การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

Utilization of Microwave Energy in Manufacturing Lightweight Concrete
for Thailand Construction Industry

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุน

วิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประเภท

ประมาณ 2556



การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

Utilization of Microwave Energy in Manufacturing Lightweight Concrete
for Thailand Construction Industry

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประเภททั่วไปประจำปีงบประมาณ 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนสนับสนุนการวิจัยนอกงบประมาณแผ่นดิน
ปีงบประมาณ 2556 ขอขอบคุณ ผศ.นุทิศ เอี่ยมใส และดร.บุญช่วย สุทธิรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาและ
ชี้แนะแนวทางการวิจัย ตลอดช่วงระยะเวลาการวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ช่วยในการ
ประสานงาน อำนวยความสะดวก ตอบแบบสอบถาม และเก็บข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้

เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัย การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรม
ก่อสร้างไทย

ผู้จัดทำ เอนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

แหล่งทุน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ปีงบประมาณ 2556

คำสำคัญ ไมโครเวฟ, คอนกรีตมวลเบา, อุตสาหกรรมก่อสร้าง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ ด้วยข้อดีของวิธีนี้ที่ดีกว่าแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เครื่องจักรและแรงงานมาก ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง ที่ระดับความถี่ 2.45 GHz เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตได้แก่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้การบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัด

และนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและอากาศตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การบ่มคอนกรีตโดยใช้พลังงานไมโครเวฟมีระยะเวลาของการบ่มที่สั้นกว่า การบ่มด้วยวิธีดั้งเดิม ในขณะที่กำลังอัดในช่วงต้นของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยไมโครเวฟมีการพัฒนาที่สูงกว่าคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและอากาศ

Abstract

Research Utilization of Microwave Energy in Manufacturing Lightweight Concrete for Thailand Construction Industry
 Researcher Anekpong Thammathiwat
 Source Phetchabun Rajabhat University
 Year 2013
 Keyword Microwave Energy, Lightweight Concrete, Construction Industry

This research presented the study results of designation and construction a microwave-system model for accelerated curing to repair concrete pavement that was made of Portland cement with microwave energy. With the advantages of this curing method which was better than the conventional method that consumed a lot of machines and labor, traffic flow must be closed, a problem to traffic jam. This study included the design a horn-shaped waveguide of microwave system for curing concrete. After using a proposed mathematical model to assist in horn-shaped microwave system at a microwave frequency of 2.45 GHz and a power of 800 watts in order to investigate its effect on the properties of concrete consisting of temperature rise, duration of curing, development of compressive strength. The

obtained results were also compared to the properties of conventional-cured concretes (water and air). The results showed that the curing period of concrete using microwave energy was shorter than the conventional curing methods. Whereas at early-age, the compressive strength of microwave-cured concrete was significantly higher than the normal-cured concretes that were cured by submerging in water and air.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อ.....	ง
Abstract.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คอนกรีตมวลเบา.....	3
2.1.1 การจำแนกชนิดของคอนกรีตมวลเบา.....	4
2.1.1 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา	5
2.2 หลักการทำงานของไมโครเวฟ.....	6
2.2.1 องค์ประกอบของไมโครเวฟ.....	7
2.2.2 ไมโครเวฟทำให้วัสดุร้อนขึ้นได้อย่างไร	10
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดที่คั่นหน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์	13
3.1.1 วัสดุ.....	13

3.1.2 อุปกรณ์.....	13
3.2 การออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา.....	13
3.3 ขั้นตอนการผสม	14
3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ.....	14
3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	14
3.4.2 การทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่น	14
3.4.3 การทดสอบอัตราส่วนปัวซอง	14
3.4.4 กำลังต้านทานแรงดึง.....	14
3.4.5 การหดตัวของคอนกรีต.....	14
บทที่ 4 ผลการวิจัย	15
4.1 การออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา.....	15
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ.....	15
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	16
5.1 สรุปผลการวิจัย	17
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	17
เอกสารอ้างอิง	18

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete) เป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่สำหรับการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมสูง และเป็นทางเลือกใหม่แก่วงการก่อสร้างเนื่องจากคอนกรีตมวลเบา มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่นๆ คือ ที่มีน้ำหนักเบา เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่อิฐมวลเบา 2 ชั้น (เว้นช่องว่างตรงกลาง) จะหนัก 180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งน้ำหนักของการก่ออิฐมวลเบามากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างเพื่อกันรับน้ำหนักในส่วนนี้ด้วย ทำให้ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นต่ำ ผลจากการสังเคราะห์ปูนสังเคราะห์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราบ ยิปซัมและปูนขาว และสารกระจายฟองอากาศขนาดเล็กอย่างสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุ แล้วผ่านการอบไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม การผลิตด้วยเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติพิเศษ เบาแต่แข็งแรง รับแรงอัดได้สูง มีความหนาแน่น 500-700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เบากว่าอิฐมวลเบา 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ลดน้ำหนักผนังอาคารเหลือ 90 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แข็งแรงรับกำลังอัดได้สูงตั้งแต่ 30-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการนำความร้อนต่ำ กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมวลเบา 4-6 เท่า ทนไฟได้นานกว่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสโดยไม่แตกร้าวหรือพังทลาย นอกจากนั้นยังเป็นฉนวนกันเสียงและลดการสะท้อนของเสียงอีกด้วย และจากการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนด้วยค่า OTTV ของบ้านที่สร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาพบว่า ค่าดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าบ้านที่สร้างด้วยอิฐมวลเบามากถึง 41.56 เปอร์เซ็นต์เลยทีเดียว

คอนกรีตมวลเบาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะกระบวนการผลิต ประเภทแรก ได้จากการผสมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือสารเพิ่มฟอง (Foaming agent) ลงบนซีเมนต์เพสต์ หรือมอร์ตาร์ในสภาพที่สตัอยู่ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วฟองอากาศเหล่านั้นจะกลายเป็นช่องว่างอากาศ (air void) ที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันอยู่เป็นจำนวนมาก จึงมักนิยมเรียกว่า Cellular Lightweight Concrete มีชื่อย่อว่า CLC ประเภทที่สองเป็นคอนกรีตอัดอากาศอบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete) มีชื่อย่อว่า AAC ประกอบด้วย ปูนขาว ทราบ ปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานและสารผสมเพิ่มเพื่อการขยายตัว (Expansion agent) คอนกรีตชนิดนี้ผ่านการบ่มในเตาอบภายใต้ไอน้ำแรงดันสูง (High-pressured-steam) ที่เรียกว่าอโตเคลป (Autoclave) ส่งผลให้เกิดโครงสร้างระดับไมโครที่เรียกว่าทูเบอร์โมไรท์ (Tobermorite) ทำให้โครงสร้างซีเมนต์เพสต์มีความแข็งแรง หากเปรียบเทียบตามคุณสมบัติระหว่างคอนกรีต AAC และ CLC จะพบว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน สำหรับระบบ AAC นั้นพบว่ามีข้อดีคือ มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงกว่าระบบ CLC แต่มีข้อเสียคือ มีการดูดซึมน้ำสูง ต้องใช้ปูนก่อฉาบชนิดพิเศษทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

ประกอบกับในปัจจุบันได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้การใช้ความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟในกระบวนการบ่มคอนกรีตเพื่อเร่งการพัฒนาการกำลังรับแรง (พรเจริญ ชนะใหม่ และคณะ [1]) โดยอาศัยพื้นฐานจากการกระจายพลังงานภายในที่เกิดจากการสั่นตัวของขั้ว (dipole) และประจุในโมเลกุลวัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric materials) ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพลังงานไมโครเวฟสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์ได้ทำให้เกิดการพัฒนาการกำลังรับแรงของคอนกรีต

อย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาจุดเด่นของการประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟในการเร่งการพัฒนา กำลังรับแรงของคอนกรีตมวล จะเห็นได้ว่าน่าจะสามารณนำมาประยุกต์ใช้กับคอนกรีตมวลเบาโดยการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสามารถเพิ่มศักยภาพทางด้านอุตสาหกรรมให้ทันกับความต้องการทางธุรกิจ อย่างไรก็ตามการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟในประเทศไทยหรือแม้กระทั่งในต่างประเทศยังไม่มีการศึกษาวิจัย จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะศึกษาและนำเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ เพื่อเป็นการแสดงศักยภาพของนักวิจัยไทยในเวทีโลก

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ตลอดจนพฤติกรรมของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และเมื่อไม่ทำการศึกษาก่อนที่จะนำไปใช้จริงก็จะเกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงตามมาทั้งชีวิตและทรัพย์สิน นอกจากนี้สามารถเติมเต็มองค์ความรู้ที่ขาด ช่วยพัฒนาศักยภาพและผลผลิตด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งแผนงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดังแต่กระบวนการผลิต วิธีการออกแบบ ภาวภาคส่วนผสม คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้งานจริง รวมถึงพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตมวลเบาที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ เพื่อที่จะเป็นแหล่งข้อมูลให้ความรู้ ส่งเสริมความเข้าใจ เผยแพร่ประโยชน์และความสำคัญของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแก่ผู้สนใจ สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟต่อไป ในขณะที่งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่บูรณาการเข้ากับงานบริการ “โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการผลิตคอนกรีตมวลเบาในเชิงธุรกิจชุมชน” ประจำปีงบประมาณ 2555 ที่ได้รับการอนุมัติโครงการไปแล้ว และสามารถบูรณาการเข้ากับการเรียนการสอนวิชาคอนกรีตเทคโนโลยี เพื่อตอบสนองการประกันคุณภาพของมหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ
- 2) เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟที่อายุ 28 วัน ได้แก่ กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดึง, โมดูลัสความยืดหยุ่น, การหดตัวของคอนกรีตและอัตราส่วนปัวซอง เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาประเภท Cellular Lightweight Concrete และ Autoclaved Aerated Concrete

- 2) ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ จากผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ตามการออกแบบภาวภาคส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) ได้องค์ความรู้ในเรื่องคอนกรีตมวลเบาทั้งในด้านการผลิตและการใช้งาน รวมถึงข้อดีของการใช้คอนกรีตมวลเบา
- 2) ได้ฐานข้อมูลการวิจัยสำหรับการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ
- 3) ภาคอุตสาหกรรมได้ทราบถึงคุณสมบัติและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะอย่างของตนเองได้
- 4) สร้างความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยและนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น
- 5) มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการสำหรับนักวิจัยและผู้สนใจทั่วไปในการวิจัยด้านคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ
- 6) ส่งเสริมการใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงานของประเทศในภาพรวม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย มีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) คอนกรีตมวลเบา
- 2) หลักการทำงานของไมโครเวฟ
- 3) การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการบ่มคอนกรีต
- 4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตมวลเบา

การใช้คอนกรีตมวลรวมเบาสามารถลดต้นทุนในงานก่อสร้างได้ ไม่ว่าจะเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง ในขณะที่คอนกรีตมวลเบาในงานโครงสร้างอาจมีราคาต่อลูกบาศก์ที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป แต่อาจทำให้โครงสร้างมีราคาต่ำกว่า โดยสามารถลดน้ำหนักบรรทุกตายตัวและประหยัดราคาค่าก่อสร้างฐานรากของอาคาร ซึ่งเป็นเหตุผลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาการใช้คอนกรีตมวลเบาในงานก่อสร้าง ส่วนในเรื่องของศักยภาพในการ

ทำงานนั้นจะขึ้นอยู่กับ การเอาใจใส่ดูแลอย่างถูกต้องและเหมาะสม ระหว่างราคาของคอนกรีตต่อปริมาตร หน่วยน้ำหนักและคุณสมบัติของโครงสร้างเอง คอนกรีตทั่วไปอาจจะมียาค่าต่อปริมาตรค่อนข้างต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแต่จะส่งผลให้ขนาดหน้าตัดของโครงสร้างใหญ่ขึ้น เพราะฉะนั้นอาจมีความต้องการสิ่งที้นอกเหนือจากคอนกรีต และเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

2.1.1 การจำแนกชนิดของคอนกรีตมวลเบา

การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนัก สามารถแบ่งแยกได้คือคอนกรีตมวลเบาชนิดทำเป็นฉนวน (Insulating Lightweight Concrete) มีค่าหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 315 ถึง 1,100 กก./ลบ.ม. และมีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ระหว่าง 7 ถึง 70 กก./ตร.ซม. คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete) มีค่าหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,800 กก./ลบ.ม. และมีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 กก./ตร.ซม. และคอนกรีตชนิดกึ่งมวลเบา (Semi-Lightweight Concrete) มีค่าหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 1,800 ถึง 2,050 กก./ลบ.ม. และมีค่ากำลังอัดไม่ต่ำกว่า 220 กก./ตร.ซม. โดยส่วนใหญ่จะนำมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับกำแพงรั้ว และใช้เป็นวัสดุทนไฟ

คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมเบาวัสดุมวลรวมเบาที่ใช้ทั่วไปเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตมวลเบาที่มีลักษณะที่สำคัญ คือ มีความพรุนสูง ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่ำ วัสดุผสมนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินพรุนและหินละลายชนิดเบา ได้จากวัสดุที่บดจากลาวาภูเขาไฟ โดยนำมาผ่านกระบวนการบดและจัดขนาด โครงสร้างภายในของหินพรุนมีโพรงยาวจำนวนมาก และมีสีขาวเทาแกมน้ำเงิน และวัสดุที่ทำเทียมขึ้น เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิบัติการทางความร้อนของวัสดุต่าง ๆ เช่น เวอร์มิกิวไลท์ซึ่งเป็นสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกตที่มีน้ำประกอบอยู่ หรือเป็นพวก ดิน ดินดาน และหินชนวนเผา

คอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมีทำโดยใช้ผงด่างโลหะ (alkaline metal) ผสม เช่น ผงอลูมิเนียม (aluminum powder) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มชนิดทำให้เกิดก๊าซ (gas-forming admixture) ใช้ผงอลูมิเนียมประมาณ 0.005 ถึง 0.02% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ผงอลูมิเนียมที่ผสมลงไปทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยากับอัลคาไลไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เพสต์ไฮโดรเจนกลายเป็นฟองอากาศเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 ถึง 1 มม. อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้น มีปริมาตรเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า

การทำอิฐสำหรับก่อสร้างของไทยได้ทำกันมานานแล้ว โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัวในแถบชนบท ซึ่งมีขนาดเล็ก และอิฐที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นอิฐมอญ ต่อมาได้มีการตั้งโรงงานใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยมากขึ้น โดยอิฐที่ทำการผลิตมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ อิฐบล็อก อิฐเบาหรืออิฐมวลเบา อิฐโฟม อิฐแก้ว และกระจุก โดยเฉพาะการผลิตอิฐเบาหรืออิฐมวลเบาในปัจจุบันนับได้ว่าเป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างแบบใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และเป็นทางเลือกใหม่แก่วงการก่อสร้าง เนื่องจากอิฐมวลเบา มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากอิฐชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน

และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี และทั้งนี้ยังนิยมใช้ในงานก่อสร้างตึกสูงประเภทอื่นๆ เช่น อาคารสำนักงาน โรงแรม และโรงพยาบาล เป็นต้น

นอกจากนี้อิฐมวลเบายังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่น่าสนใจ คือ การมีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้เบา(ลอยน้ำได้) ฟองอากาศเป็น closed cell ไม่ดูดซึมน้ำ (ดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า) ความเบาก็จะทำให้ประหยัดโครงสร้าง เป็นฉนวนความร้อน ค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าคอนกรีตบล็อก 4 เท่า ดีกว่าอิฐมอญ 6-8 เท่า ไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟ 1,100 องศาได้นาน 4 ชม. กันเสียงได้ดี เมื่อฉาบจะแตกร้าวน้อยกว่าก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากตัวบล็อกกับปูนฉาบมีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกัน และก่อเป็นผนังรับแรงได้น้ำหนักประมาณ 80 กก./ตรม. ซึ่งอิฐมวลเบา 1 ก้อนเท่ากับอิฐมอญ 18 ก้อน การผลิตอิฐมวลเบาของไทย มีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตดังนี้คือ ทราย (สัดส่วน 50%) ยิปซัม (สัดส่วน 9%) ปูนขาว (สัดส่วน 9%) ซีเมนต์ (สัดส่วน 30%) และผงอลูมิเนียม (สัดส่วน 2%)

2.1.1 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติสำคัญที่คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยใช้ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์ การทดสอบทำโดยการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงลูกบาศก์ ตามมาตรฐานอังกฤษ BS 1881:Part 3 ขนาดที่ใช้คือ 15×15×15 เซนติเมตรและรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐานอเมริกัน ASTM C 192 ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร กำลังอัดของคอนกรีตทั้ง 2 รูปทรงนี้ จะให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะใช้ส่วนผสมเดียวกันทำการบ่มภายใต้สภาวะเดียวกันและทดสอบที่อายุเท่ากัน โดยผลการทดสอบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ จึงมีค่าสูงกว่ารูปทรงกระบอก

1) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

โมดูลัสความยืดหยุ่นเป็นอัตราส่วนของหน่วยแรงที่กระทำต่อหน่วยการหดตัว คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่มีการยืดหยุ่นรับ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวรขึ้นภายใต้ น้ำหนักบรรทุกน้อยๆ หรือในช่วงจำกัดยืดหยุ่น ค่าหน่วยการหดตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงที่กระทำ คอนกรีตจะไม่เสียรูปมากนัก แต่เมื่อพ้นช่วงนี้แล้วน้ำหนักหรือแรงที่กระทำจะทำให้เกิดการเสียรูปเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเกิดการแตกหัก โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต หาได้จากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และหน่วยการหดตัว ซึ่งได้จากการทดสอบหาลำกำลังอัดของคอนกรีต

2) กำลังต้านทานแรงดึง (Splitting Tensile Strength)

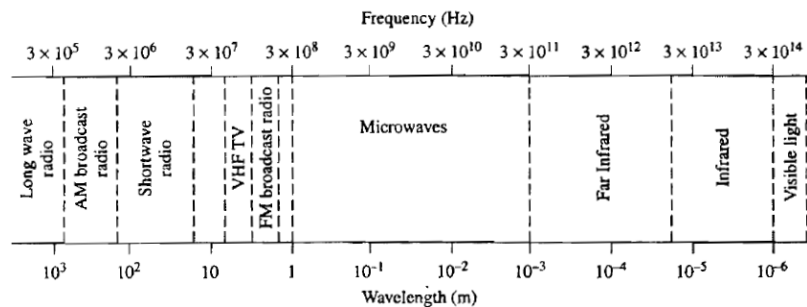
กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัด ถึงแม้ว่าคอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่ค่ากำลังดึงนี้จะช่วยการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว และมีประโยชน์อย่างมากในงานคอนกรีตอัดแรง งานสิ่งก่อสร้างเก็บของเหลว เป็นต้น วิธีการวัดค่าแรงดึงในคอนกรีตทำได้ 3 วิธี คือ Direct Tensile Test, Flexural Strength Test, Splitting Test การทดสอบโดยวิธี Splitting Test เป็นที่นิยมแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าสม่ำเสมอมากกว่าวิธีอื่น แต่ไม่ได้ค่ากำลังที่แท้จริง

3) การหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage)

การหดตัวของคอนกรีตเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตเมื่อเกิดการสูญเสียน้ำหรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนผสมของคอนกรีตเอง การหดตัวของคอนกรีตสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาพขณะก่อตัวและหลังจากก่อตัวแล้วเสร็จ เมื่อคอนกรีตเกิดการหดตัวที่มากกว่าปกติจะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ การหดตัวที่เกิดขึ้นหลังจากการแข็งตัวของคอนกรีตมี 3 ลักษณะคือ Drying shrinkage คือการหดตัวที่เกิดจากการเสียความชื้นในคอนกรีต Autogeneous shrinkage เป็นการหดตัวเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ และ Carbonation shrinkage เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของ Cement hydration และถูกปฏิกิริยาโดย Carbon ในรูปของ CO_2

2.2 หลักการทำงานของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่คลื่นอยู่ในช่วง 300 MHz – 300 GHz (Davison, 1991; Singh and Heldman, 2001; Tang et al., 2002; ประสิทธิ์ ทิมพุดิ และประพจน์ จิระสกุลพร 2549; Regier และ Schubert, 2005; Pozar, 2005; Saengrayup, 2007) และมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1.0 mm – 1.0 m (Pozar, 2005; Regier และ Schubert, 2005) ซึ่งอยู่ระหว่างความยาวคลื่นวิทยุ (Radio wave) และความยาวคลื่นอินฟราเรด (Infrared wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คลื่นไมโครเวฟเกิดจากการสร้างขึ้นของมนุษย์มีลักษณะเหมือนกับคลื่นแสง คลื่นเสียง คลื่นวิทยุ และคลื่นความร้อน แต่จะมีความแตกต่างที่ความยาวคลื่นและความถี่คลื่น (Davison, 1991; สุเมธ ตันตระเจียร และคณะ, 2539) คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะเหมือนกับลำแสง โดยจะเดินทางเป็นเส้นตรงและสามารถทะลุผ่านอากาศ ภาชนะที่ทำจากแก้ว กระจก พลาสติก ไม้ และเครื่องเคลือบดินเผาหรือเซรามิก (วิลโลว์ รังสาดทอง, 2547; สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2549) แต่จะสะท้อนกลับเมื่อกระทบโลหะและจะถูกดูดกลืนได้ดีในสารประกอบที่มีสมบัติเป็นไดอิเล็กทริก (Dielectric) (เกศินี มีทรัพย์, 2548) ในการใช้ประโยชน์จากคลื่นไมโครเวฟเริ่มต้นครั้งแรกจากการใช้งานในการส่งระบบเรดาร์ (Radar) สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อปี พ.ศ. 2487 (Tang et al., 2002; ประสิทธิ์ ทิมพุดิ และประพจน์ จิระสกุลพร, 2549) และในปีเดียวกันนี้ เฟลมมิง (Fleming) ได้ใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟในช่วง 11-350 MHz ทดสอบกับสารละลายของเอสเชอริเชียโคไล (Escherichia Coli) ซึ่งมีผลต่อการทำลายแบคทีเรีย (อรวินท์ เลหาวิชตนันท์ และคณะ, 2549) ต่อมากลุ่มวิศวกรของบริษัท Raytheon ก็สามารถนำคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันในรูปแบบของเตาอบไมโครเวฟได้เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2488 (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2549) โดยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ส่วนใหญ่จะใช้ความถี่ 2,450 และ 915 MHz หลังจากนั้นก็มีการพัฒนาปรับปรุงเตาอบไมโครเวฟเรื่อยๆ จนสามารถผลิตออกจำหน่ายเป็นการค้าในเชิงพาณิชย์เป็นที่นิยมแพร่หลายไปทั่วโลกจนถึงปัจจุบันนี้



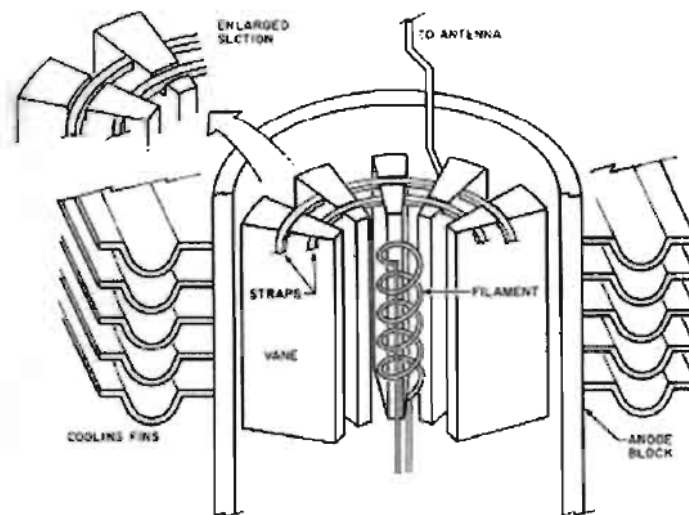
รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ

(Pozar, 2005)

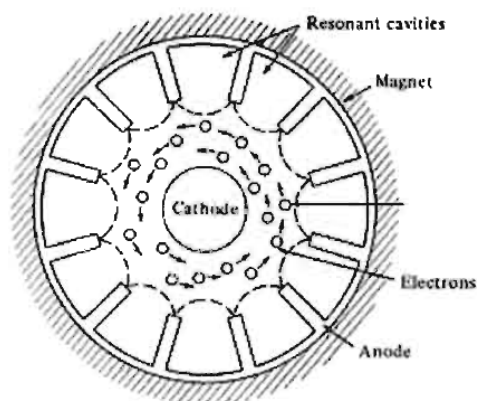
2.2.1 องค์ประกอบของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Sources) ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (Waveguides) และส่วนบริเวณที่มีวัตถุติดอยู่ (Applicators) (เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ, 2545; Rigier และ Schubert, 2005) ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบและหลักการทำงานได้ดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเกิดจากแมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งแมกนีตรอนทำหน้าที่ในการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อไปกระตุ้นให้เกิดความร้อนขึ้น แมกนีตรอนเป็นหลอดสุญญากาศ (Vacuum Tube) มีโครงสร้างภายนอกเป็นโลหะ และมีครีบบระบายความร้อนอยู่ด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนโครงสร้างภายในจะมีส่วนกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเรียกว่า ไดโอด (Diode) ซึ่งประกอบด้วยแท่งแอโนด (Anode) และแคโทด โดยแท่งแอโนดทำหน้าที่ในการกำหนดวงโคจรของไมโครเวฟ ซึ่งประกอบด้วยท่อทรงกระบอกที่ทำด้วยทองแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4.5 cm และยาว 3.2 cm ปิดด้วยแผ่นทองแดงที่ปลายหลอดทั้งสองด้าน เพื่อดูดอากาศออกทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นภายในหลอดไดโอด และภายในหลอดไดโอดจะประกอบด้วยแผ่นทองแดง (Vaness) ประมาณ 12 แผ่น เรียงต่อกันคล้ายซี่ล้อรถจักรยาน ซึ่งจะเว้นช่องว่างไว้ตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 cm โดยจะมีขดลวดม้วน (Filament) เป็นเกลียวอยู่รอบๆ แกนศูนย์กลางซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า แคโทด โดยจะทำหน้าที่ในการปลดปล่อย Thermionic Electron ดังแสดงในรูปที่ 2.8



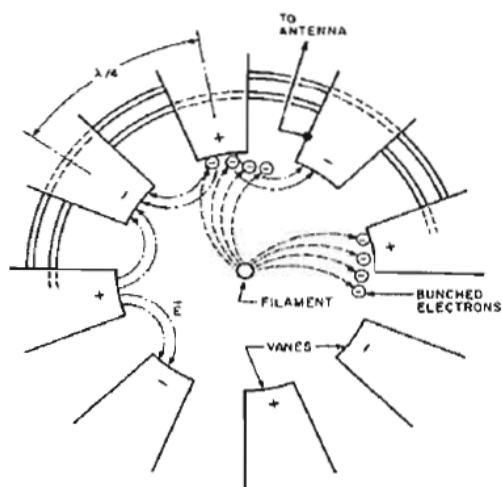
รูปที่ 2.2 รูปตัดขวางด้านข้างแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน
(วิไล รังสาดทอง, 2547)



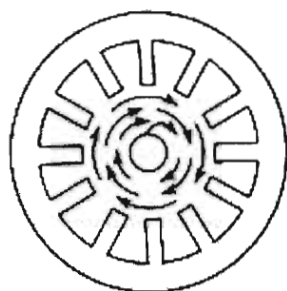
รูปที่ 2.3 รูปตัดขวางด้านบนแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน
(Zante และ Helen, 1973)

หลักการทำงานของแมกนีตรอนเริ่มต้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดหรือแคโทดทำให้ขดลวดร้อนขึ้น และเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบออกมาวนเวียนอยู่รอบๆ แท่งแอโนด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และจะเกิดเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่ตรงกลางไดโอด เมื่อผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 4,000 – 6,000 V ระหว่างแอโนดและแคโทด จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นและจะเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากกลุ่มอิเล็กตรอนไปยังแอโนด ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนวนไปรอบๆ คล้ายซีลอร์ดดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นผลให้เกิดคลื่นไมโครเวฟขึ้น โดยจะมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่บริเวณส่วนบนของหลอดแมกนีตรอนทำหน้าที่จับคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นแล้ว

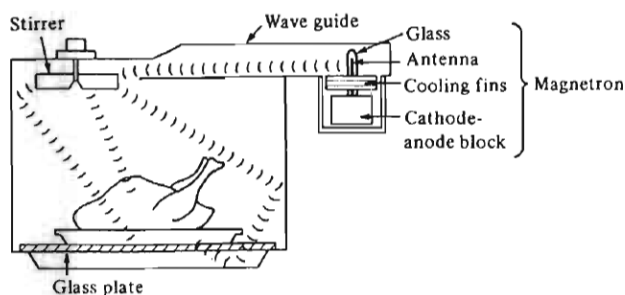
ส่งผ่านท่อนำคลื่น (Wave guide) และผ่านไปยัง Stirrer เพื่อช่วยกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สัมผัสอาหารได้อย่างทั่วถึงภายในตู้อบไมโครเวฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.4 รูปตัดขวางของแอโนดในแมกนีตรอน
(วิลโลว์ รังสาดทอง, 2547)



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแคโทดสู่แอโนด
(Davidson, 1991)



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบสำคัญของตู้อบไมโครเวฟ
(Zante และ Helen, 1973)

2.2.2 ไมโครเวฟทำให้วัสดุร้อนขึ้นได้อย่างไร

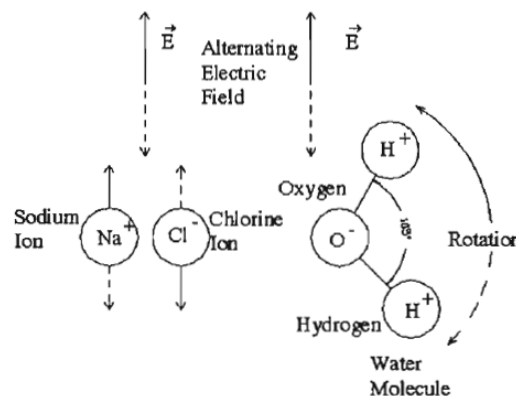
เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดแมกนีตรอนแพร่กระจายไปสัมผัสกับวัสดุ ซึ่งสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุ โดยน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้โมเลกุลของน้ำในชั้นวัสดุสั่นสะเทือนและเกิดการชนโมเลกุลอื่นๆ เกิดเป็นพลังงานจลน์แล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ลักษณะการเกิดความร้อนแบ่งเป็น 2 แบบ (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2549) คือ

1) Ionic Polarization

ความร้อนเกิดจากไอออนในสารละลายที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้า โดยไอออนจะถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกับไอออนอื่นๆ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งความร้อนก็จะกระจายไปสู่ส่วนอื่นๆ ของวัสดุ

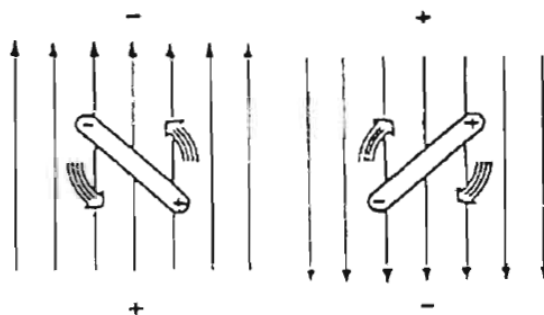
2) Dipole Rotation

เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (Polar) ซึ่งก็คือน้ำที่อยู่ในวัสดุ โดยโครงสร้างโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม เกาะติดกับออกซิเจน 1 อะตอม ซึ่งทำมุมกัน 105° อะตอมของไฮโดรเจนมีประจุบวก 1 ประจุ ส่วนอะตอมของออกซิเจนมีประจุลบ 2 ประจุ โมเลกุลที่มีลักษณะนี้เรียกว่า ไดโพล (Dipole) หรือโมเลกุลไดโพล (วิลโล รังสาดทอง, 2547; อรวิทย์ เลาห์รัชตนันท์ และคณะ, 2549) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.7 ผลของคลื่นไมโครเวฟต่อโมเลกุลไอออนิก (ซ้าย) และไดโพล (ขวา)
(วิลโล รังสาดทอง, 2547)

ในสภาวะปกติก่อนที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น โมเลกุลของน้ำที่มีประจุบวกและประจุลบที่อยู่ในวัสดุจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (Random Oriente) มีทิศทางกระจาย แต่เมื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของโมเลกุลของน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวให้เป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.8 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ
(สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2549)

การเคลื่อนที่หมุนตัวของประจุบวกและประจุลบของโมเลกุลของน้ำกลับไปกลับมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วฟ้าอย่างรวดเร็วในวัสดุตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ 915 หรือ 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที (สุเมธ ตันตระเชียร และคณะ, 2539; วิไล รังสาทอง, 2547; สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2549) ชั้นของโมเลกุลของน้ำจะเกิดการเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนแปลงทิศทางในสนามไฟฟ้า ซึ่งความเร็วจากการเคลื่อนที่หมุนตัวและการเสียดสีกันของโมเลกุลที่อยู่ภายในชั้นวัสดุ พลังงานก็จะเคลื่อนที่ไปยังไอออนและอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนนี้จะค่อยๆ กระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ ของวัสดุ โดยการนำความร้อนจากผลของการเดือดของน้ำในวัสดุ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรเจริญ ชนะใหม่ และคณะ (2554) ศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ไมโครเวฟต้นแบบสำหรับ การบ่มเร่งเพื่อใช้ในการซ่อมแซมพื้นผิวการจราจรซึ่งเป็นคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ ด้วยข้อดีของวิธีนี้ที่ดีกว่าแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เครื่องจักรและแรงงานมาก ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตและต้องมีการปิดการจราจรซึ่งเป็นปัญหาต่อผู้ใช้ถนน ในการศึกษา นี้ประกอบด้วย การออกแบบปากแตร (Horn) สำหรับใช้บ่มเร่งคอนกรีต หลังจากนั้นใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการออกแบบปากแตร (Horn) โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz ที่กำลัง 800 วัตต์ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตได้แก่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้การบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัด และนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและอากาศตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การบ่มคอนกรีตโดยใช้พลังงานไมโครเวฟมีระยะเวลาของการบ่มที่สั้นกว่าการบ่มด้วยวิธีดั้งเดิม

ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ และคณะ (2550) เสนอนวัตกรรมการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง (โครงสร้างภายในระบบ ประกอบด้วยแมกนีตรอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 กิโลเฮิร์ต (GHz) ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 8 ตัว ติดตั้งกระจายภายในอุโมงค์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 X 0.90 เมตร 2 และมีความยาวอุโมงค์ 3 เมตร สำหรับระบบสายพานลำเลียงทำการลำเลียงชิ้นงานจากบริเวณที่ใส่ชิ้นงานเข้าสู่อุโมงค์ด้วยอัตราเร็ว 0 - 0.4 เมตรต่อวินาที โดยมีระบบป้องกันการรั่วไหลของไมโครเวฟไม่ให้เกินค่ามาตรฐานของ DHHS ที่ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งผ่านการบ่มในน้ำ และอากาศโดยตัวแปรที่ใช้คือ จำนวนแมกนีตรอน (กำลัง

วัดต์) ระยะเวลาในการบ่ม และสัดส่วนผสมของคอนกรีตซึ่งเกิดจากองค์ประกอบระหว่างซีเมนต์ น้ำ หินทราย และหิน นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลของปริมาณอากาศและสารผสมเพิ่มชนิดสารหน่วงการก่อตัว จากผลการศึกษาพบว่าพลังงานไมโครเวฟสามารถช่วยเร่งพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในช่วงต้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

ปิยธิดา แก้วดอนไพร และคณะ (2550) ศึกษาเทคนิคการทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยการเร่งค่ากำลังอัดด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยกำหนดค่าของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้ 180, 210, 240, 280, 350 กก.ซม.2 เพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองทำนายค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เพื่อใช้ทำนายเปรียบเทียบกับคอนกรีตสำเร็จรูปจากหน่วยงานก่อสร้าง ที่มีค่ากำลังอัด 280 และ 350 กก.ซม.2 โดยใช้เตาอบไมโครเวฟที่ต่างรุ่นกัน 2 รุ่น คือ เตาอบไมโครเวฟแบบหมุน (Manual) พลังงานสูงสุด 850 วัตต์ และเตาอบไมโครเวฟแบบกดปุ่ม (Auto) พลังงานสูงสุด 1,000 วัตต์ จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการทำนายค่ารับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยไมโครเวฟจะได้แบบจำลองที่ใช้ทำนายค่าโดยแบบจำลองจากเตาอบไมโครเวฟแบบหมุน (Manual) มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 20%

ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ และคณะ (2550) นำเสนอการบ่มมอร์ตาร์ด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มมอร์ตาร์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ การพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นของมอร์ตาร์เมื่อผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ผลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งผ่านการบ่มในน้ำ โดยตัวแปรที่ใช้คือ จำนวนแมกนีตรอน (กำลังวัดต์) และระยะเวลาในการบ่มมอร์ตาร์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ และใช้มอร์ตาร์ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.49 หรือที่ค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 110 $\pm$ 5 สัดส่วนของมวลรวมละเอียด (ทราย) ต่อปูนซีเมนต์ (S/C) โดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.0 และ 2.75 และออกแบบปริมาณอากาศเท่ากับร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร อีกทั้งศึกษาผลกระทบจากการใช้สารผสมเพิ่มชนิดสารหน่วงการก่อตัว (retarder) นอกจากนั้นคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้น และการพัฒนา กำลังอัด จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าพลังงานไมโครเวฟสามารถช่วยเร่งกำลังอัดในช่วงต้นของคอนกรีตโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

วีรณศักดิ์ แก้วเทศ และพิภพ ตะเภาพงษ์ (2542) ศึกษาหาวิธีการลดระยะเวลาในการทำนายค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวที่อายุ 28 วันโดยวิธีเร่งกำลังอัดด้วยพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งมีแนวทางการศึกษาแบ่งเป็น 2 แนวทางคือ แนวทางที่ 1 ศึกษาผลจากการใส่สารเคมีเพื่อเร่งการก่อตัวของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวอยู่แล้ว ที่มีผลต่อการต้านทานการจมลงของเข็มทดสอบในมอร์ตาร์ (Penetration Resistance) ซึ่งผลที่ได้พบว่าการผสมสารเคมีเพื่อเร่งการก่อตัวในคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัวนั้น ไม่สามารถเร่งการแข็งตัวของมอร์ตาร์ได้ และแนวทางการทดลองที่ 2 ศึกษาการลดระยะเวลาการพักคอนกรีตก่อนนำเข้าเตาอบไมโครเวฟ โดยการลดค่าการต้านทานการจมลงของเข็มทดสอบในมอร์ตาร์ จากเดิมที่ใช้ค่า 500 psi มาเป็น 0 - 300 psi ซึ่งผลที่ได้พบว่าการใช้ค่าการต้านทานการจมลงของเข็มในมอร์ตาร์ ที่มีค่าใกล้เคียงค่าที่ 300 psi แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่ได้จากการเร่งการแข็งตัวกับค่ากำลังอัดจริงที่ 28 วันมีความน่าเชื่อถือมากกว่า

ธนกร พิระพันธุ์ และคณะ (2544) ศึกษาวิธีการทำนายค่ากำลังอัดที่ระยะยาวของคอนกรีตกำลังอัดปกติ ที่ใช้และไม่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้

กำลังอัดเร็วและประเภทรูปร่าง โดยพัฒนาเทคนิคการให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ เพื่อใช้ค่ากำลังอัดที่ได้จากการเร่งการแข็งตัวของคอนกรีตด้วยพลังงาน ไมโครเวฟที่ระยะแรกในการทำนายค่ากำลังอัดที่ระยะยาว วิธีทดลองเริ่มต้นด้วยการหากระบวนการเร่งการ แข็งตัวของคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟที่เหมาะสม จากนั้นนำกระบวนการเร่งการแข็งตัวที่ได้ไปใช้เร่งการแข็งตัวให้กับคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่ระยะแรก และสร้างสมการที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่ระยะแรกที่ได้จากการเร่งการแข็งตัว และค่ากำลังอัดที่ระยะยาวที่ได้จากการบ่มปกติ ผลการทดลองที่ได้พบว่าเทคนิคการเร่งการแข็งตัวด้วยพลังงานไมโครเวฟนี้ สามารถใช้ทำนายค่ากำลังอัด 28 วันของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย เป็นการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟและศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยมีวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- 2) ทรายสะอาด
- 3) น้ำสะอาด
- 4) สารเพิ่มฟองอากาศ Foaming Agent

3.1.2 อุปกรณ์

- 1) โม่ผสมคอนกรีต
- 2) เครื่องผลิตโฟมเหลว Foam Generator
- 3) แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก Cylinder ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
- 4) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด Compression Machine
- 5) ชุดทดสอบ Compressometer และ Extensometer

3.2 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา

การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยวิธีช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยที่สุด (Minimum Void Ratio) โดยกำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณซิลิกาฟูม สารลดน้ำพิเศษ ระยะเวลาเซตตัว และวิธีการบ่ม เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนผสมอื่นเป็นตัวแปรตาม เพื่อหาอัตราส่วนผสมและวิธีการบ่มที่จะทำให้คอนกรีตรับกำลังได้มากที่สุด หลังจากนั้นทดสอบหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.16 , 0.18 และ 0.20 โดยแต่ละอัตราส่วนแบ่งเป็น 2 ชุดย่อยๆละ 3 ตัวอย่าง แล้วทำการทดสอบหาลังรับแรงอัดโดยทดสอบ

ด้วยแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ที่อายุ 24 ชั่วโมง และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงสุด ทดสอบหาปริมาณซิลิกาฟูมที่ให้กำลังสูงสุดโดยใช้ปริมาณซิลิกาฟูมที่ 10, 20 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบ โดยที่แต่ละเปอร์เซ็นต์แบ่งเป็น 2 ชุดย่อยๆละ 3 ตัวอย่าง แล้วทำการทดสอบหาลำรับ แรงอัดโดยทดสอบด้วยแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่อายุ 24 ชั่วโมง

3.3 ขั้นตอนการผสม

1) เตรียมเครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีตปั่นลม และ ถังแรงดันผสมน้ำยาเพิ่มพองโดยผสมสารเพิ่มพองเหลว กับน้ำในอัตราส่วน 1:30 ใส่ลงในถังของเครื่อง ผสมโฟมเหลว ในปริมาณที่ต้องการใช้ในการผสมแต่ละครั้ง

2) ใส่ทรายและซีเมนต์ลงในโม่ผสมคอนกรีตแล้วเปิดเครื่องผสมให้ทรายและปูนซีเมนต์ คลุกเคล้ากัน

3) เมื่อทรายและปูนซีเมนต์ คลุกเคล้ากันดีแล้ว ใส่น้ำลงไปโม่ผสมคอนกรีต โดยระหว่าง เติมน้ำให้เปิดเครื่องผสมคอนกรีตเพื่อให้ น้ำที่เติมลงไปเข้ากันได้กับทรายและปูนซีเมนต์

4) เมื่อน้ำผสมกับทรายปูนซีเมนต์จนเป็นเนื้อเดียวกัน (ซีเมนต์มอร์ต้า) แล้วทำการฉีด โฟมเหลวลงไป โดยระหว่างการฉีดโฟมเหลวต้องเปิดเครื่องผสมคอนกรีต

5) เมื่อซีเมนต์มอร์ต้ากับโฟมเหลวคลุกเคล้าจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงหยุดเครื่องผสม ใน การผสมในแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลาเกิน 5 นาที นำคอนกรีตที่ได้ไปเทลงแบบหล่อ

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ

3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.4.2 การทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่น

3.4.3 การทดสอบอัตราส่วนปัวซอง

3.4.4 กำลังต้านทานแรงดึง

3.4.5 การหดตัวของคอนกรีต

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยการประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ช่วยพัฒนาศักยภาพและผลผลิตด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งแผนงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดังแต่กระบวนการผลิต วิธีการออกแบบปฏิภาคส่วนผสม คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้งานจริง รวมถึงพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตมวลเบาที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ เพื่อที่จะเป็นแหล่งข้อมูลให้ความรู้ ส่งเสริมความเข้าใจ เผยแพร่ประโยชน์และความสำคัญของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแก่ผู้ที่สนใจ สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟต่อไป โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา

หลังจากออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยวิธีช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยที่สุด โดยกำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณซิลิกาฟุ่ม สารลดน้ำพิเศษ ระยะเวลาเซตตัว และวิธีการบ่ม เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนผสมอื่นเป็นตัวแปรตาม เพื่อหาอัตราส่วนผสมและวิธีการบ่มที่จะทำให้คอนกรีตรับกำลังได้มากที่สุด หลังจากนั้นทดสอบหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.16 , 0.18 และ 0.20 โดยแต่ละอัตราส่วนแบ่งเป็น 2 ชุดย่อยๆละ 3 ตัวอย่าง แล้วทำการทดสอบหาลำลังรับแรงอัดโดยทดสอบด้วยแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ที่อายุ 24 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.16 ให้กำลังรับแรงแท่งตัวอย่างมากที่สุด

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ

ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อกำลังวัตต์ของพลังงานไมโครเวฟมากขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มมากขึ้น ปริมาณกำลังวัตต์ที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ควรให้ในปริมาณที่เหมาะสมไม่ควรให้มากเกินไป และในทางปฏิบัติจริงหากเป็นไปได้ควรมีการปรับเปลี่ยนกำลังวัตต์อยู่เสมอเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ หากใช้กำลังวัตต์ไมโครเวฟต่ำเกินไปการผลิตความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและไล่ปริมาณความชื้นส่วนเกินเป็นไปได้ช้าทำให้ใช้เวลานานเกินความจำเป็น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยการประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ และเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัดต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ช่วยพัฒนาศักยภาพและผลผลิตด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตั้งแต่กระบวนการผลิต วิธีการออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสม คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้งานจริง รวมถึงพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตมวลเบาที่ผ่านการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลให้ความรู้ ส่งเสริมความเข้าใจ เผยแพร่

ประโยชน์และความสำคัญของคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟแก่ผู้ที่สนใจ สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟต่อไป โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบา ให้มีการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็วและมีกำลังไม่ตกเมื่อระยะเวลาผ่านไปสามารถทำได้และมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำไปใช้จริงสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย แต่การพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาด้วยไมโครเวฟนั้นยังต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลหลายประการ อาทิเช่น ปริมาณกำลังวัตต์ที่ใช้ ระยะเวลาในการบ่ม ปริมาณความชื้นที่สูงเกินไป อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะบ่ม และสัดส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้นถ้าหากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแต่อาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลแย่ลงเมื่อมีค่ามากเกินไป โดยปัจจัยดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ปริมาณกำลังวัตต์ที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์เพสต์ควรให้ในปริมาณที่เหมาะสมไม่ควรให้มากหรือน้อยเกินไป และในทางปฏิบัติจริงหากเป็นไปได้ควรมีการปรับเปลี่ยนกำลังวัตต์อยู่เสมอเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ หากใช้กำลังวัตต์ไมโครเวฟต่ำเกินไปการผลิตความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและไล่ปริมาณความชื้นส่วนเกินเป็นไปได้ช้าทำให้ใช้เวลานานเกินความจำเป็น แต่ถ้าใช้ปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงมากจนทำให้ซีเมนต์เพสต์เสียหายได้ นอกจากนั้นความสามารถในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของซีเมนต์เพสต์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นการปรับกำลังวัตต์ให้เหมาะสมจะช่วยให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็นอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยการประยุกต์ใช้งานไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา มีข้อเสนอแนะในการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีค่าแตกต่างกันไม่มากนักจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อความสามารถในการเท การยุบตัว และการเยิ้ม
- 2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการระยะเวลาการก่อตัวในช่วงแรกกว่ามีผลต่อกำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าอย่างไร
- 3) ก่อนเทคอนกรีตลงแบบหล่อควรทำความสะอาดแบบหล่อแล้วทาน้ำมันแต่ไม่ควรทามากเกินไปควรทาบางๆ เท่านั้น
- 4) การผสมคอนกรีตเพื่อหล่อคอนกรีตในแต่ละสูตรควรหล่อที่อายุ 28 วัน และ 56 วัน เพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกัน
- 5) ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา ไม่สามารถทำการเคลือบปลาย (Capping) ได้เนื่องจากก้อนตัวอย่างมีความพรุนมาก

6) ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงผ้าซีกและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา ส่วนใหญ่อ่านค่าไม่ได้เนื่องจากก้อนตัวอย่างเกิดการวิบัติก่อนที่เข็มจะขยับ ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรใช้เครื่องทดสอบที่ทดสอบได้ละเอียดยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

พรเจริญ ชนะใหม่ บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ ญัฐ มากุล และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช "การศึกษา ระบบไมโครเวฟสำหรับบ่มคอนกรีตของผิวจราจร" การประชุมวิชาการ การถ่ายทอดผลงานความรู้อ และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 10 วันที่ 10-11 มีนาคม 2554 จังหวัดเชียงใหม่

ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ , ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, วุชระ เกาะแก้ว, ณรงค์ศักดิ์ มากุล และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ 'การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสายพานลำเลียง ต่อเนื่อง' การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 วันที่ 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

ปิยธิดา แก้วดอนไพร, อุบลวรรณ พัฒนสิน, เฉลิมพล ศรีคงรักษ์, ราตรี สีสมบัติ, วรเชษฐ์ ป้อม เชียงพิณ, สีนาด โกศลานันท์, “แบบจำลองการทำนายค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยไมโครเวฟ”, รายงาน การวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอัญมณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ , ณรงค์ศักดิ์ มากุล, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ วุชระ เกาะ แก้ว “การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ด้วยพลังงานไมโครเวฟโดยใช้เตาชนิดสายพานลำเลียง แบบต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการการถ่ายทอดผลงานความรู้อและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6 วันที่ 15-16 มีนาคม 2550 จังหวัดเชียงใหม่

วีรณศักดิ์ แก้วเทศ และพิภพ ตะเภาพงษ์, “การลดระยะเวลาในการทำนายค่ากำลังอัดของ คอนกรีตที่ใส่สารหน่วงการก่อตัวที่อายุ 28 วัน ด้วยวิธีการเร่งการแข็งตัวโดยพลังงานไมโครเวฟ”, เอกสารวิจัยระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, โรงเรียนนายเรืออากาศ, 2542

ธนากร พิระพันธุ์ และคณะ, การประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยอาศัยค่ากำลังอัดที่ได้จากการเร่งการแข็งตัวด้วยพลังงานไมโครเวฟ, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,ส่งสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,สัญญาเลขที่ PDF/36/2542,2544

Aneksrup , Thanongsak ,Development of an optimal process for concrete containing admixtures cures with microwave energy to predict 28-days compressive strength,AIT Thesis,School of Civil Engineering ,Bangkok,2001.

ASTM,Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.04,1991.

Dumangas Jr,Mario,The Use of Microwave Curing Technique to Estimate The Long-Term Strength of a normal concrete, AIT Thesis, School of Civil Engineering, Bangkok, 1999

Neas,E.D. and Collins,M.J.,Microwave Heating ,Washington DC,1998 Sutton ,Willard H.,Microwave processing of ceramic materials,Ceramic Bulletin, Vol. 68,No. 2, pp.376-386, 1989