

การศึกษาและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการบ่มเร่งคอนกรีตของผิวจราจร

A Study of prototype construction for accelerated curing of concrete road surface by microwave energy

พรเจริญ ชนะใหม่^{1,2}, บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ^{1,2*}, ณัฏฐ์ มากุล³ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช¹

¹ หน่วยงานวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)

² การออกแบบและพัฒนาต้นแบบทางวิศวกรรม (CED²)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบล คลองหนึ่ง อำเภอ คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขที่ 3 หมู่ 18 ถนน แจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขต บางเขน จ. กรุงเทพมหานคร 10210

*ผู้ติดต่อ: E-mail: rbunyong@engr.tu.ac.th

เบอร์โทรศัพท์ 02-564-3001-9 ต่อ 3159, เบอร์โทรสาร: 02-564-3001-9 ต่อ 3049

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เน้นศึกษากระบวนการบ่มเร่งคอนกรีตของผิวจราจรโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการบ่มเร่งคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ด้วยคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากการซ่อมแซมผิวถนนจำเป็นต้องมีการปิดการจราจรซึ่งเป็นปัญหาสำหรับผู้ใช้งานส่วนใหญ่ อีกทั้งกระบวนการซ่อมถนนหลังจากเทพื้นด้วยคอนกรีตจำเป็นต้องมีการบ่มคอนกรีตเพื่อให้ถนนมีความแข็งแรงพร้อมสำหรับการเปิดใช้ทางซึ่งการบ่มคอนกรีตแบบดั้งเดิมนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องจักร แรงงาน และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการบ่มเร่งคอนกรีต โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและการออกแบบปากแตรที่เหมาะสมสำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟ หลังจากนั้นจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการออกแบบปากแตร และสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการบ่มคอนกรีตแบบหยดน้ำ โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz, กำลัง 800 วัตต์ ซึ่งในการทดลองศึกษาผลกระทบจากการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตได้แก่ การพัฒนากำลังอัด ความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต และทำการเปรียบเทียบการบ่มด้วยน้ำและอากาศ ตามลำดับ จากผลการทดลองการบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟพบว่าจะมีระยะเวลาการบ่มที่สั้นกว่าวิธีแบบดั้งเดิม และมีการพัฒนากำลังอัดช่วงเริ่มต้นจากการบ่มด้วยไมโครเวฟดีกว่าการบ่มด้วยน้ำและอากาศ ในขณะที่การบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟเมื่อใช้เวลามากกว่า 90 นาทีจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเกิน 80 °C

คำหลัก: ไมโครเวฟ, คอนกรีต, บ่มคอนกรีต, ผิวจราจร

Abstract

This research focused on the use of microwave to accelerated curing of concrete. Starting with study on the horn designation was suitable for concrete curing in a microwave. The mathematical models was then applied to design the horn cavity and to construct a stationary prototype for concrete curing by microwave energy at an operating frequency of 2.45 GHz and 800 Watts and a design of preventive leakage equipment. The experimental studying was the effect of microwave curing on the concrete properties including the development of compressive strength, moisture and time application in concrete curing and also compared to the water- and air-cured concretes. From the test results, it was found that application period of microwave curing was shorter than those of the conventional curing methods. Moreover the development of compressive strength at early age was also better than curing by water soaking and air drying. However, the microwave curing of concrete when used for more than 90 minutes affected on a continuous decrease in the compressive strengths when the temperature exceeds over 80 °C.

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาที่มีความเจริญอย่างต่อเนื่องจะเน้นการเดินทางเพื่อขนส่งสินค้าตลอดจนการคมนาคมภายในประเทศยังต้องพึ่งพาการขนส่งทางบกเป็นหลักเนื่องจากมีราคาถูกทำให้การเดินทางโดยใช้รถสะดวกและเข้าถึงได้ง่ายกว่าทำให้จำเป็นต้องสร้างถนนเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอเพียงต่อการเดินทางของคนส่วนใหญ่ในขณะที่งบประมาณส่วนใหญ่ของประเทศจะใช้สำหรับซ่อมแซมถนนมากกว่าการสร้างถนนใหม่ ฉะนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงเน้นไปที่การซ่อมแซมถนนคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ Rattanadecho [1] และ Pheeraphan [2-4] ซึ่งมีระยะเวลาการบ่มที่สั้นกว่าวิธีแบบดั้งเดิม ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเสนอการซ่อมแซมถนนที่มีโครงสร้างคอนกรีต ปัจจุบันพบว่าการบ่มคอนกรีตแบบดั้งเดิมนั้นต้องมีการปิดการจราจร เวลาที่ใช้บ่มคอนกรีต และใช้แรงงานมาก รวมทั้งต้องหาแหล่งน้ำสำหรับให้ความชื้นกับคอนกรีต ฉะนั้นการบ่มเร่งโดยใช้ไมโครเวฟจึงเป็นทางเลือก Rattanadecho[5] ด้วยข้อดีของไมโครเวฟใช้เวลาน้อยกว่าและให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่า

เนื่องจากความร้อนเกิดขึ้นจากข้างในออกมาสู่ผิวด้านนอก ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบการบ่มเร่งคอนกรีตโดยใช้ไมโครเวฟ ซึ่งเริ่มจากการออกแบบปากแตรและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบปากแตรที่เหมาะสม โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz กำลังที่ใช้ 800 วัตต์ เพื่อศึกษาผลกระทบจากบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ ความแข็งแรง ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต ความชื้น และอุณหภูมิ ซึ่งการทดลองจะเป็นแบบหยุดนิ่งการให้พลังงานไมโครเวฟจะเป็นแบบต่อเนื่อง และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับบ่มด้วยน้ำและอากาศ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะนำไปสู่การออกแบบระบบไมโครเวฟโดยใช้การเคลื่อนที่ต่อไปในอนาคต

2. การออกแบบปากแตรและแบบจำลองทาง

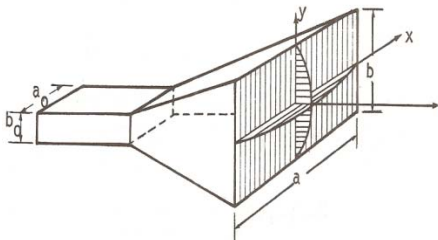
คณิตศาสตร์

ในการศึกษาการออกแบบปากแตร (Horn) นั้น เนื่องจากต้องการให้มีพื้นที่การกระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นซึ่งนำไปใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟซึ่งมีวัสดุคอนกรีตเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกที่สามารถดูดซับ

คลื่นไมโครเวฟและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยมุ่งเน้นถึงการศึกษาการออกแบบปากแตรในย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz ซึ่งท่อนำคลื่นที่เหมาะสมในย่านความถี่นี้คือ WR 430 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 109.22 x 54.61 มิลลิเมตร เมื่อได้ขนาดปากแตรที่เหมาะสมแล้วจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตร

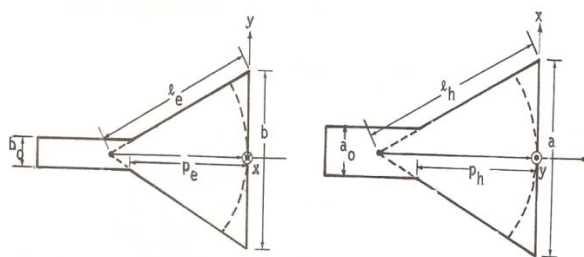
2.1 หลักการออกแบบปากแตร

การออกแบบปากแตร[6] มีโครงสร้างดังรูปที่ 1 กล่าวคือมีการลู่ออกในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กการลู่ออกในลักษณะนี้จะทำให้มีพื้นที่การกระจายคลื่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1 สายอากาศแบบปากแตร

โดยที่การออกแบบจะเริ่มจากความถี่ไมโครเวฟที่ใช้งาน 2.45 GHz และนำพื้นที่หน้าตัดมาทำการออกแบบท่อนำคลื่นหลังจากนั้นจะทำการออกแบบปากแตร



รูปที่ 2 การลู่ออกของระนาบ E และ H

เริ่มจากการกำหนดขนาดของ a, b, l_e, l_h เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมและหาขนาดของ P_e, P_h ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของ l_e, b, b_0 และ l_h, a, a_0

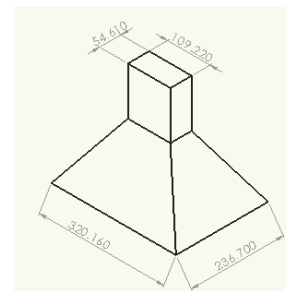
$$P_e = (b - b_0) \left[\left(\frac{l_e}{b} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$P_h = (a - a_0) \left[\left(\frac{l_h}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ซึ่งหาได้จากสมการที่ (1) และ (2) โดยที่ l_e, l_h จะหาได้จากสมการที่ (3)

$$\left(\sqrt{\frac{2l_e}{\lambda} - \frac{b_0}{\lambda}} \right)^2 \left(\frac{2l_e}{\lambda} - 1 \right) = \left(\sqrt{\frac{3K\lambda}{l_e} - \frac{a_0}{\lambda}} \right)^2 \left(\frac{4K\lambda}{3l_e} - 1 \right) \quad (3)$$

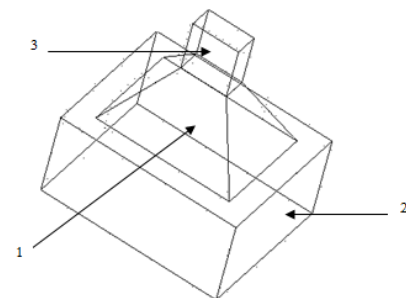
เมื่อได้ขนาดของปากแตรที่ได้จากการคำนวณ หลังจากนั้นจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายใน



รูปที่ 3 ปากแตรที่ได้จากการคำนวณ

2.2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้ขนาดปากแตรที่ได้จากการออกแบบแล้วจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตรและการกระจายอุณหภูมิภายในโหลด (คอนกรีต) โดยสามารถเขียนเป็นแบบจำลองทางกายภาพในการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองทางกายภาพปากแตร (Horn)

จากรูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลองระบบไมโครเวฟโดยมีแหล่งป้อนคลื่นหนึ่งตำแหน่งซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. คาวิตี (Cavity) ผังของคาวิตีจะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวดส่งผลให้ไม่มีการดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่ส่งออกจากท่อนำคลื่น

2. โหลด (Load) คือวัสดุที่สามารถทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

3.ท่อนำคลื่น (Wave guide) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

2.2.1 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในควิตี

สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในควิตี (วิเคราะห์ทั้งในส่วนของท่อนำคลื่น, ควิตี และ โหลด) สามารถหาได้จากสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกเวลล์ในกรณี 3 มิติโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีรายละเอียดดังนี้

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times E) - k_0^2 \left(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \right) E = 0 \quad (4)$$

$$\epsilon_0 = n^2 \quad (5)$$

โดยที่

E คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity), V/m

H คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity), A/m

j คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density), A/m²

σ คือ สมบัติการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity), S/m

μ_r คือ สมบัติการซึมผ่านของสนามแม่เหล็กสัมพัทธ์ (Relative Magnetic Permeability)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ, rad/s

k_0 คือ จำนวนเลขคลื่นอากาศ (Free Space wave number)

ϵ_0 คือ สมบัติไดอิเล็กตริกในสภาวะสุญญากาศ (Permittivity of vacuum), 8.854x10⁻¹² F/m

n คือ ดัชนีหักเห (Refractive Index)

ϵ_r คือ สมบัติไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Relative Dielectric Constant) ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆ ที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่าน และสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ

2.2.2 การวิเคราะห์ความร้อนภายในโหลดคอนกรีต

สมการถ่ายเทความร้อนในปัญหานี้จะวิเคราะห์เฉพาะความร้อนที่เกิดขึ้นภายในโหลดที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณี 3 มิติเท่านั้น (เนื่องจากอากาศภายในควิตีไม่มีการดูดซับพลังงานไมโครเวฟเป็นความร้อน) โดยสมมุติให้ภายในโหลดมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (Heat Conduction) และโหลดสามารถกำเนิดความร้อนภายในด้วยการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อน (Heat Generation) และจากสมมุติฐานดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (6)$$

โดยที่

T คือ อุณหภูมิ (Temperature), °C

t คือ เวลา (Time), s

c_p คือ ความจุความร้อนของสสาร (Heat Capacity at Constant Pressure), J/kg.K

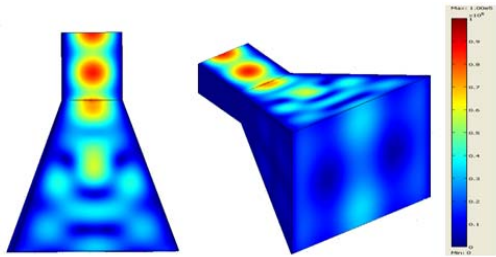
ρ คือ ความหนาแน่น (Density), kg/m³

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity), W/m.k

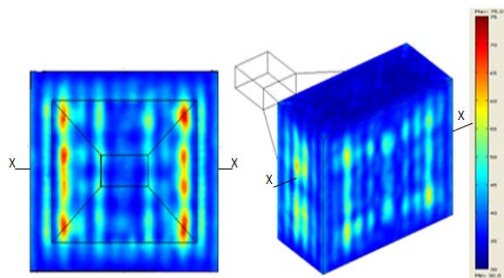
Q คือ ความหนาแน่นของพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในวัสดุ (Local Volumetric Heat Generation Term) ซึ่งได้จากการดูดซับพลังงานไมโครเวฟและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน, W/m³

3. ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

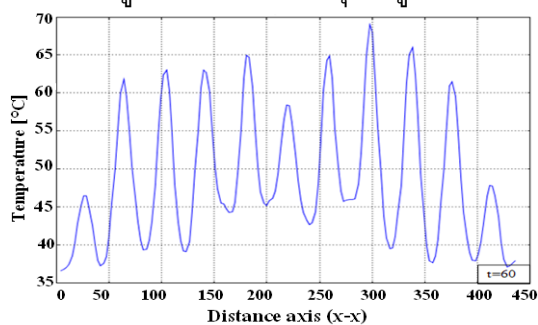
หลังจากได้ทำการออกแบบปากแตรเสร็จสิ้นและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์การกระจายของคลื่นไมโครเวฟเพื่อที่จะช่วยให้การออกแบบปากแตรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5 การกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายใน
ควาดีแบบปากแตร



รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิ



รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิในแกน X-X
ที่เวลา 60 วินาที

โดยรูปที่ 5 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตรพบว่ามีความเข้มแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่จริงภายในปากแตรที่ได้ออกแบบ และจากรูปที่ 6 แสดงการกระจายอุณหภูมิของคอนกรีตและได้ทำการวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีตในแนวแกน x-x จากรูปที่ 7 พบว่าภายในคอนกรีตจะเกิดความร้อนเนื่องจากวัสดุคอนกรีตเกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบพบว่าปากแตรที่ได้ออกแบบนั้นมีความถูกต้องและเมื่อนำไปสร้างและทดลองการบ่มเร่งคอนกรีตด้วยไมโครเวฟจะทำให้คอนกรีตได้รับพลังงานที่ส่งออกมาจากปากแตรและวัสดุคอนกรีตเกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลอง

นั้นให้ผลที่น่าพอใจและเกิดการกระจายความร้อนค่อนข้างสม่ำเสมอ

4. เปรียบวิธีทดลอง

ระบบไมโครเวฟในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ควาดีแบบปากแตรในการบ่มเร่งคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยที่สมมุติให้คอนกรีตไม่มีการเคลื่อนที่ ขณะที่คอนกรีตนั้นมีความชื้นอยู่ภายในและเกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ความถี่ไมโครเวฟที่ใช้งาน 2.45 GHz กำลังที่ใช้ 800 วัตต์ 1 ตัวและขนาดของคอนกรีต 15x15x15 ซม. ตามมาตรฐานอังกฤษ BS 1881:PART 3 โดยที่คอนกรีตที่ใช้จะเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำประปา (ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 7) และทราย(ใช้ทรายร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วล้างน้ำทำการอบแห้งเป็นเวลา 1 วัน) หลังจากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมรวมกัน จากนั้นทำการทดลองแยกบ่มตามกรรมวิธีต่างๆกันคือ การบ่มน้ำและการบ่มอากาศจะเก็บที่อายุที่เท่ากัน คือ 8 ชม, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 14 วันและ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนการบ่มด้วยอุปกรณ์ต้นแบบไมโครเวฟนั้นจะใช้เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาทีตามลำดับโดยที่การบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟนั้นจะใช้พลังงานไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์แบบต่อเนื่องหลังจากนั้นจะทิ้งไว้ในอากาศประมาณ 8 ชม. ต่อจากนั้นจะนำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงและทำการวัดอุณหภูมิคอนกรีตหลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบกับบ่มด้วยน้ำและอากาศรวมทั้งการหาความชื้นของคอนกรีตที่หายไปหลังจากการบ่มด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (ก.ก.)	น้ำ (ก.ก.)	ทราย (ก.ก.)	หิน (ก.ก.)	อัตราส่วน น้ำต่อ ปูนซีเมนต์
350	170	830	1135	0.48

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ขั้นตอนทดสอบขนาดตามมาตรฐาน BS 1881:PART3 คือ 15x15x15 ซม. โดยที่แบบหล่อที่ใช้เป็นอะคริลิกหนา 10 มม. สำหรับการ

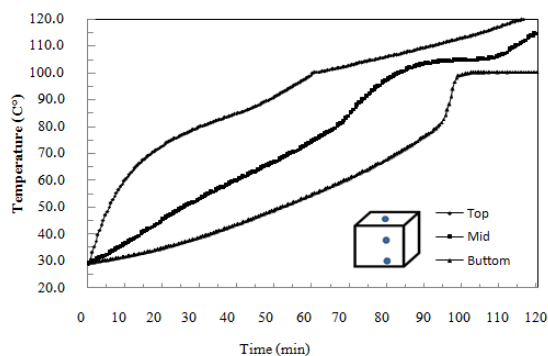
บ่มด้วยไมโครเวฟ ส่วนการบ่มด้วยน้ำและอากาศจะใช้แบบหล่อที่เป็นเหล็ก สำหรับการบ่มด้วยไมโครเวฟนั้น หลังจากผสมเสร็จจะทิ้งไว้ 30 นาทีในอากาศเพื่อให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดชันกับน้ำ หลังจากนั้นจึงทำการบ่มด้วยไมโครเวฟต่อไป



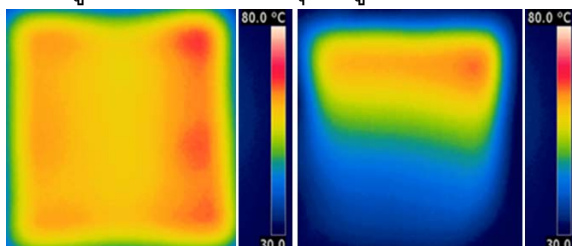
รูปที่ 8 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการบ่มคอนกรีต

5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองการบ่มคอนกรีตจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การบ่มด้วยไมโครเวฟและการบ่มแบบธรรมชาติคือ การบ่มด้วยน้ำและอากาศ ขณะที่การบ่มด้วยไมโครเวฟจะทำการศึกษาในส่วนของอุณหภูมิและความชื้นและทำการวัดอุณหภูมิภายในคอนกรีตซึ่งใช้เครื่อง Data logger และสายเทอร์โมคัปเปิล type T

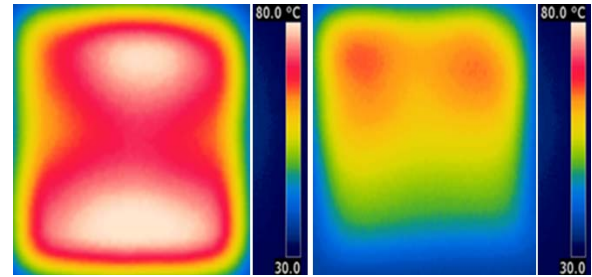


รูปที่ 9 แสดงการวัดอุณหภูมิภายในคอนกรีต



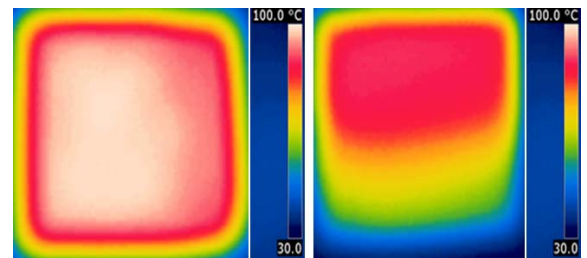
(ก) ผิวด้านบน (ข) ผิวด้านข้าง

รูปที่ 10 แสดงการวัดอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้กล้องอินฟราเรดที่เวลา 30 นาที



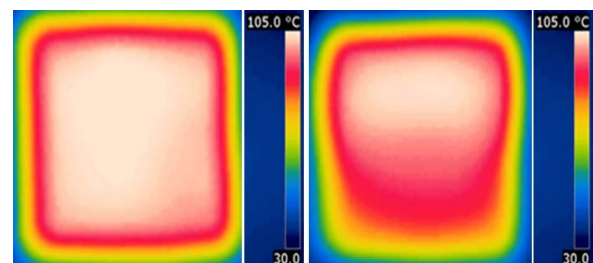
(ก) ผิวด้านบน (ข) ผิวด้านข้าง

รูปที่ 11 แสดงการวัดอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้กล้องอินฟราเรดที่เวลา 60 นาที



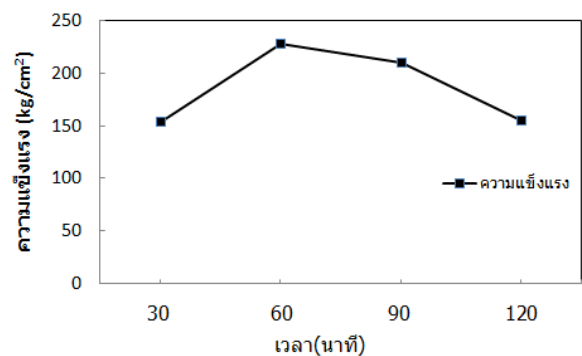
(ก) ผิวด้านบน (ข) ผิวด้านข้าง

รูปที่ 12 แสดงการวัดอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้กล้องอินฟราเรดที่เวลา 90 นาที

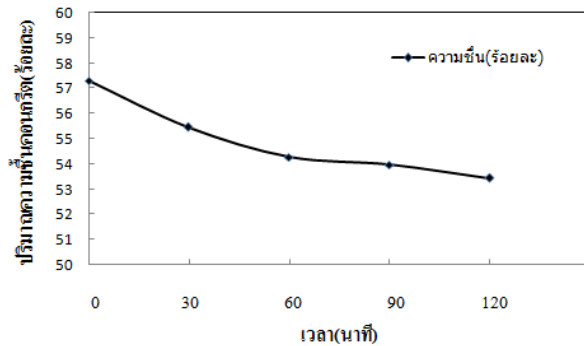


(ก) ผิวด้านบน (ข) ผิวด้านข้าง

รูปที่ 13 แสดงการวัดอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้กล้องอินฟราเรดที่เวลา 120 นาที



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-ความแข็งแรงที่ใช้ในการบ่มด้วยไมโครเวฟ



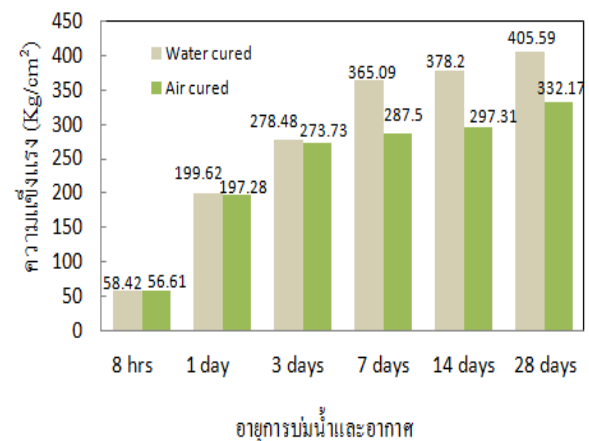
รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-
ความชื้นหลังจากบ่มด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงของการบ่มแต่ละ
ประเภท

TYPE	TIME	Average Compressive strength (Kg/cm ²)
Microwave cure machine	Microwave cured for 30 mins and Air cured for 8 hrs.	153.3
	Microwave cured for 60 mins and Air cured for 8 hrs.	228.6
	Microwave cured for 90 mins and Air cured for 8 hrs.	210
	Microwave cured for 120 mins and Air cured for 8 hrs.	154.6
Water cured	28 days	405.59
	14 days	378.2
	7 days	365.09
	3 days	278.48
	1 days	199.62
	8 hrs.	58.42
Air cured	28 days	332.17
	14 days	297.31
	7 days	287.56
	3 days	297.73
	1 days	197.28
	8 hrs.	56.61

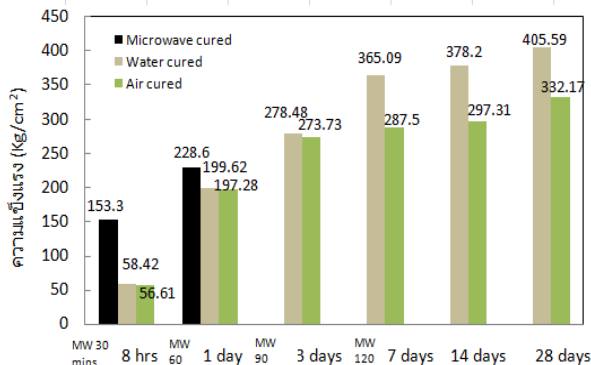
จากผลการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิภายในคอนกรีตร่วมกับการต่อสายเทอร์โมคัปเปิล Type T ซึ่งทำการวัด 3 ตำแหน่งคือที่ผิวด้านบน, ตรงกึ่งกลาง และที่ผิวด้านล่างตามลำดับ จากรูปที่ 9 พบว่าอุณหภูมิที่ผิวช่วงแรกจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นช่วงแรกซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกสูงทำให้คอนกรีตดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ทั้งหมด ขณะที่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่ผิวด้านบนจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากนั้นอุณหภูมิที่ผิวด้านในจะค่อยๆ สูงขึ้น ต่อจากนั้นคลื่นไมโครเวฟจะทะลุทะลวง

เข้าสู่ตรงกลางของคอนกรีตทำให้บริเวณตรงกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นและอุณหภูมิด้านล่างจะค่อยๆ สูงขึ้นเนื่องจากผนังทุกด้านเป็นฉนวนไม่มีการถ่ายเทความร้อน และจากรูปที่ 10-13 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีตที่เวลา 30, 60, 90, 120 นาทีตามลำดับโดยใช้กล้องอินฟราเรดวัดอุณหภูมิที่ผิวและดูการกระจายอุณหภูมิคอนกรีตจะพบว่าเมื่อคอนกรีตได้รับพลังงานไมโครเวฟจะทำให้วัสดุเกิดความร้อนสูงขึ้นและเมื่อเวลาผ่านไปจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวสูงขึ้นตามลำดับหลังจากนั้นเมื่อบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟเรียบร้อยแล้วจะทิ้งไว้ในอากาศประมาณ 8 ชม. เพื่อให้เย็นลง หลังจากนั้นจะนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเพื่อหาความแข็งแรงจากรูปที่ 14 จะพบว่าเมื่อบ่มคอนกรีตด้วยพลังงานไมโครเวฟช่วง 60 นาทีแรกกำลังอัดช่วงเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นกำลังอัดของคอนกรีตจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิเกิน 80 องศา นอกจากนี้คอนกรีตสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างภายในของคอนกรีตเกิดการแตกร้าว และจากรูปที่ 15 พบว่าช่วงแรกความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์กับน้ำหลังจากนั้นอัตราการระเหยของน้ำจะเริ่มลดลง หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการบ่มด้วยไมโครเวฟและการบ่มด้วยวิธีแบบธรรมชาติมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดังตารางที่ 2



รูปที่ 16 เปรียบการบ่มด้วยน้ำและอากาศ

จากรูปที่ 16 เปรียบค่าความแข็งแรงจากการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำและอากาศจะพบการบ่มด้วยน้ำจะให้ความแข็งแรงมากที่สุด



รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละของกำลังอัดในการบ่มแบบต่างๆเทียบกับการบ่มด้วยน้ำ 28 วัน

และจากรูปที่ 17 เปรียบเทียบการบ่มด้วยไมโครเวฟ, การบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศจะพบว่าการบ่มด้วยน้ำจะให้ความแข็งแรงมากที่สุดที่อายุ 28 วัน ขณะที่การบ่มด้วยไมโครเวฟที่เวลา 60 นาที จะให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าการบ่มด้วยน้ำและคอนกรีตที่เวลา 1 วัน ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีทางธรรมชาติในขณะการบ่มด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 90 และ 120 นาทีพบว่าจะทำให้คอนกรีตมีค่าความแข็งแรงลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไปซึ่งเป็นการบ่มแบบต่อเนื่อง

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟตั้งแต่การศึกษาและออกแบบปากแตรสำหรับสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

จากการทดลองพบว่า การบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟนั้นส่งผลให้คอนกรีตได้รับพลังงานไมโครเวฟและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในคอนกรีตเกิดการระเหยออกมาที่ผิวด้านบนส่งผลให้วัสดุคอนกรีตเกิดการแห้งตัวและทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วอีกทั้งการพัฒนา กำลังอัดหรือความแข็งแรงในช่วงเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อนำคอนกรีตมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงที่ได้จากการบ่มด้วยวิธีธรรมชาติคือการบ่มด้วยน้ำ, อากาศ

และการบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบพบว่า การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำที่ 28 วันจะให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ 405.59 kg/cm² ซึ่งจากการบ่มด้วยไมโครเวฟที่ 60 นาทีจะให้ค่าความแข็งแรงเท่ากับ 228.6 kg/cm² เมื่อเทียบกับการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศที่เวลา 60 นาที จะพบว่า จะให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าการบ่มด้วยน้ำและอากาศที่เวลา 1 วันซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาไป 23 ชั่วโมง และจากการทดลองพบว่า ถ้าหากบ่มด้วยไมโครเวฟต่อเนื่องเป็นเวลา 90 และ 120 นาทีจะทำให้อุณหภูมิคอนกรีตสูงเกิน 80 องศา ทำให้ค่าความแข็งแรงของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งในอนาคตผู้วิจัยจะทำการศึกษาการบ่มคอนกรีตแบบเคลื่อนที่และปรับปรุงกระบวนการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟให้ได้ความแข็งแรงใกล้เคียงกับการบ่มด้วยน้ำ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rattanadecho, p., Suwannapum, N., Chatveera, B., Atong, D., and Makul, N., 2008 "Development of Compressive Strength of Cement Past under Accelerated Curing by Using a Continuous Microwave Thermal Processor" Materials Science and Engineering A(472) 299-307.
- [2] Leung, C.K. and PheeraPhan, T., 1995 "Microwave Curing of Portland Cement Concrete: Experiment Result and Feasibility for Practical Application" Construction and Building Materials, Vol. 9. No.2, pp.67-73
- [3] Leung, C.K. and PheeraPhan, T., 1995 "Very High Early Strength of Microwave Cured Concrete " Cement and Research, Vol.25, No.1, pp.136-146.

[4] Leung, C.K. and PheeraPhan, T., 1997
"Determination of Optimal Process for Microwave
Curing of Concrete " Cement and Research,
Vol.27, No.3, pp.463-472.

[5] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551, พื้นฐานการทำความ
ร้อนด้วยไมโครเวฟ, สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[6] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, 2536, วิศวกรรม
สายอากาศ, สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย