

การศึกษาระบบไมโครเวฟสำหรับบ่มคอนกรีตของผิวจราจร

A STUDY OF MICROWAVE SYSTEM FOR CURING CONCRETE PAVEMENT

พรเจริญ ชนะใหม่¹

บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ^{1*}

ณัฐ มากุล

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช¹

¹หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟ
ในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง

อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12120

*Corresponding author: โทร : +66-(0)-2564-

3001 ถึง 9 ต่อ 3159

โทรสาร: +66-(0)-2564-3001 ถึง 9 ต่อ 3049

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

²สาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขที่ 3 หมู่ 6 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์

เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10210

Corresponding author: โทร : +66-(0)-2544-

8000 ต่อ 1211 E-mail:

shinomomo7@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษารออกแบบและสร้างอุปกรณ์ไมโครเวฟต้นแบบสำหรับ การบ่มเร่งเพื่อใช้ในการซ่อมแซมพื้นผิวจราจรซึ่งเป็นคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ ด้วยข้อดีของวิธีนี้ที่ต่ำกว่าแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เครื่องจักรและแรงงานมาก ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตและต้องมีการปิดการจราจรซึ่งเป็นปัญหาต่อผู้ใช้ถนน ในการศึกษาประกอบด้วยการออกแบบปากแตร (Horn) สำหรับใช้บ่มเร่งคอนกรีต หลังจากนั้นใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการออกแบบปากแตร (Horn) โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz ที่กำลัง 800 วัตต์ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตได้แก่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้การบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัด และนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและอากาศตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การบ่มคอนกรีตโดยใช้พลังงานไมโครเวฟมีระยะเวลาของการบ่มที่สั้นกว่าการบ่มด้วยวิธีดั้งเดิม ในขณะที่กำลังอัดในช่วงต้นของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยไมโครเวฟมีการพัฒนาที่สูงกว่าคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยน้ำและอากาศ

คำหลัก: ระบบไมโครเวฟ, ผิวจราจร, คอนกรีต

Abstract

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.

Keywords: Microwave system, Traffic pavement, Concrete

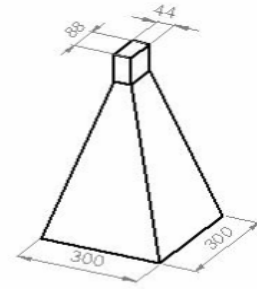
1. บทนำ

ในปัจจุบันการซ่อมแซมพื้นถนนคอนกรีตแบบดั้งเดิมนั้นซึ่งใช้เครื่องจักร แรงงาน และระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตและต้องมีการปิดการจราจรซึ่งเป็นปัญหาต่อผู้ใช้ถนน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ในการบ่มแรงคอนกรีตโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ Rattanadecho [1] และ Pheeraphan [2-4] ซึ่งจะมีระยะเวลาในการบ่มที่สั้นกว่าการบ่มแบบดั้งเดิม ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเสนอการซ่อมแซมโครงสร้างที่เป็นคอนกรีต ในปัจจุบันการซ่อมแซมนั้นมีหลายวิธีเช่น การใช้กาวคอนกรีตเข้ามาช่วยหรือการใช้คอนกรีตชนิดแห้งเร็วซึ่งมีราคาแพงและการนำคอนกรีตใหม่มาเททับบริเวณที่ชำรุดแล้วปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวตามธรรมชาติ ซึ่งวิธีนี้ต้องอาศัยสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น สภาพอากาศ ระยะเวลาการบ่มคอนกรีต เป็นต้น ที่ผ่านมามีผู้คิดค้นที่จะพยายามลดระยะเวลาในกระบวนการซ่อมแซมถนนคอนกรีตตั้งแต่การรื้อ ผิวทางเดิมโดยการ ใช้พลังงานไมโครเวฟ David R. Hall [5] และมีการนำพลังงานไมโครเวฟร่วมกับการนำไอเสียจากเครื่องยนต์มาให้ความร้อนที่ผิวคอนกรีต Morris R. Jeppson [6] เพื่อร่นระยะเวลาเพื่อให้ทันเปิดการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาระบบไมโครเวฟสำหรับการบ่มคอนกรีตของผิวจราจรซึ่งเริ่มต้นจากการออกแบบปากแตร (Horn) เมื่อได้แบบที่ต้องการแล้วจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีต จากนั้นจะเป็นการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการบ่มคอนกรีตโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz ที่กำลัง 800 วัตต์ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตได้แก่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้การบ่มคอนกรีต การพัฒนากำลังอัด โดยในการทดลองนั้นสมมุติให้คอนกรีตอยู่หนึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ และนำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบการบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศตามลำดับ ผลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้จะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาไปสู่การออกแบบให้เหมาะสมสำหรับการบ่มแรงผิวจราจรโดยใช้พลังงานไมโครเวฟแบบเคลื่อนที่ต่อไปในอนาคต

2. หลักการออกแบบปากแตรและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 หลักการออกแบบปากแตร

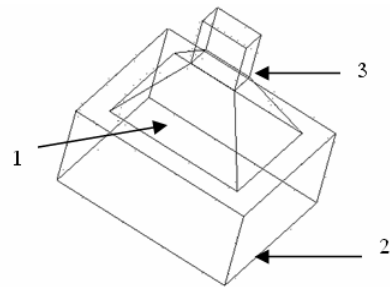
ในการศึกษาการออกแบบปากแตร (Horn) ที่มีการกระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพื่อที่จะนำไปใช้ในกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟซึ่งมีวัสดุคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกซึ่งดูดซับคลื่นไมโครเวฟทำให้คอนกรีตเกิดความร้อน โดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับความถี่ 2.45 GHz ซึ่งท่อนำคลื่นที่เหมาะสมในย่านความถี่นี้คือ WR 340 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 44 x 88 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ในส่วนของการออกแบบปากแตร (Horn) กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 300 x 300 มิลลิเมตร เพื่อให้ครอบคลุมชิ้นงานที่ทำการทดลอง โดยที่พื้นที่ปากแตรที่ติดกับท่อนำคลื่นจะมีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของท่อนำคลื่น WR 340 โดยที่ความยาวของปากแตรมีขนาดเท่ากับ 500 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ขนาดปากแตร (Horn)

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้ขนาดปากแตร (Horn) ที่ได้จากการออกแบบแล้วจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตรและการกระจายตัวของความร้อนภายในโหลด (คอนกรีต) โดยสามารถเขียนเป็นแบบจำลองทางกายภาพในการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองทางกายภาพปากแตร (Horn)

จากรูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของการจำลองระบบไมโครเวฟโดยมีแหล่งป้อนคลื่นหนึ่งตำแหน่งซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. คิวตี้ (Cavity) ผนังของคิวตี้จะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวดส่งผลให้ผนังไม่มีการดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่ส่งออกมาจากท่อนำคลื่น
2. โหลด (Load) คือวัสดุที่สามารถทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ
3. ท่อนำคลื่น (Wave guide) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

2.2.1 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในคิวตี้

สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในคิวตี้ (วิเคราะห์ทั้งในส่วนของท่อนำคลื่น คิวตี้ และโหลด) สามารถหาได้จากสมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกเวลล์ในกรณี 3 มิติ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

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

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

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)

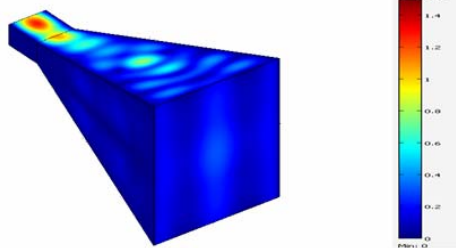
ϵ_0 คือ สมบัติไดอิเล็กตริกในสภาวะสุญญากาศ (Permittivity of Vacuum), 8.854×10^{-12} F/m

n คือ ดัชนีหักเห (Refractive Index)

ϵ_r คือ สมบัติไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Relative Dielectric Constant) ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัตถุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ

2.2.2 การวิเคราะห์ความร้อนภายในโหลดคอนกรีต

สมการถ่ายเทความร้อนในปัญหานี้จะวิเคราะห์เฉพาะความร้อนที่เกิดขึ้นภายในโหลดที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในควาร์ตในกรณี 3 มิติเท่านั้น (เนื่องจากอากาศภายในควาร์ตไม่มีการดูดซับพลังงานไมโครเวฟเป็นความร้อน) โดยสมมติให้ภายในโหลดมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (Heat Conduction)



รูปที่ 3 การกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในควาร์ตแบบปากแตร (Horn)

และโหลดสามารถกำเนิดความร้อนภายในด้วยการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อน (Heat Generation) และจากสมมติฐานดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (3)$$

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

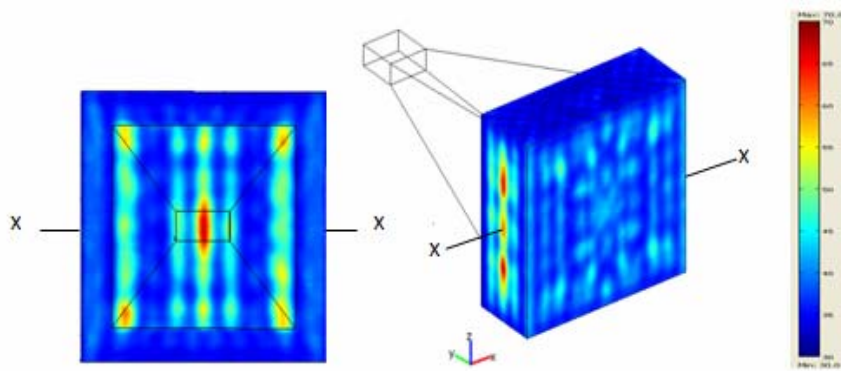
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity), W/m.K

Q คือ ความหนาแน่นของพลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในวัสดุ (Local Volumetric Heat

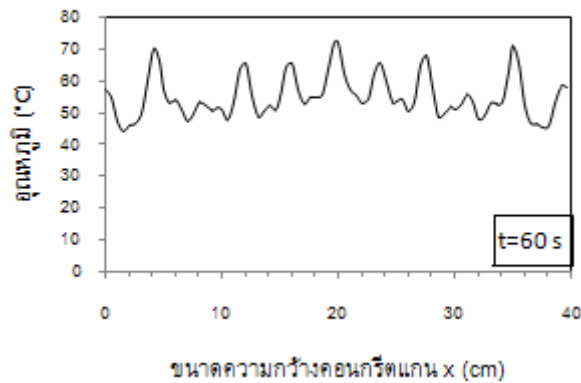
Generation Term) ซึ่งได้จากการดูดซับพลังงานไมโครเวฟและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน, W/m³

3. ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง

เมื่อได้ทำการออกแบบปากแตร (Horn) เสร็จแล้วหลังจากนั้นจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระจายอุณหภูมิภายในโหลดคอนกรีต เพื่อที่จะช่วยในการออกแบบขนาดของปากแตรให้มีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิของคอนกรีตเส้น x-x



รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิในเส้น x-x ที่เวลา 60 วินาที

โดยรูปที่ 3 และ 4 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตรและการกระจายอุณหภูมิภายในโหลคอนกรีต จะพบว่าการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปากแตรและที่ภายในคอนกรีตจะเกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟเกิดความร้อน และรูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในคอนกรีตซึ่งทำการวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีต ในแนวเส้น x-x ที่เวลา 60 วินาที พบว่าที่บริเวณจุดกึ่งกลางคอนกรีตจะเกิดความร้อนเนื่องจากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟทำให้ภายในคอนกรีตเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ ทำให้ทราบว่ปากแตรที่จะสร้างเป็นอุปกรณ์ต้นแบบนั้นมีการกระจายตัวสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระจายอุณหภูมิของคอนกรีตในเกณฑ์ที่น่าพอใจรวมทั้งให้ความร้อนที่วัสดุคอนกรีตค่อนข้างสม่ำเสมอ

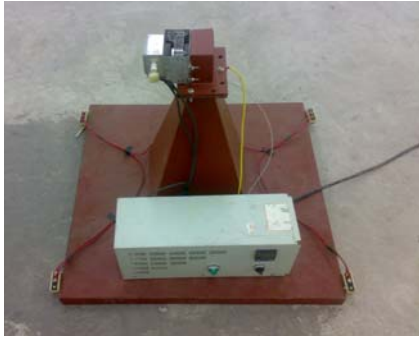
4. ระเบียบวิธีทดลอง

ระบบไมโครเวฟที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้คาร์ตีแบบปากแตร (Horn) มาทำการบ่มคอนกรีตโดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือวัสดุที่นำมาวางจะเป็นคอนกรีตที่มีความชื้นจะอยู่ที่บริเวณด้านล่างและด้านบนจะเป็นคาร์ตีแบบปากแตรโดยที่ด้านบนจะติดตั้งแมกนีตรอนกำลัง 800 วัตต์ 1 ตัว ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz ปากแตรขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3 x 0.3 เมตร และขนาดของคอนกรีตที่ใช้ทดลองสูง 0.15 เมตร กว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.3 เมตร โดยที่คอนกรีตที่ใช้จะเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำประปา (ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 7) และทราย (ใช้ทรายร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วล้างน้ำทำการอบแห้งเป็นเวลา 1 วัน) หลังจากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมรวมกัน จากนั้นทำการทดลองแยกบ่มตามกรรมวิธีต่างๆ กันคือ การบ่มด้วยน้ำที่เวลา 28 วันและบ่มด้วยอากาศเป็นเวลา 1 วัน ส่วนการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตจะบ่มเป็นเวลา 90 นาที โดยใช้แมกนีตรอน 1 ตัว (กำลัง 800 วัตต์) เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ เมื่อทำการบ่มคอนกรีตด้วยอากาศ น้ำ และไมโครเวฟแล้วทำการวัดอุณหภูมิและเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (ก.ก.)	น้ำ (ก.ก.)	ทราย (ก.ก.)	หิน (ก.ก.)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
350	175	798	1091	0.5

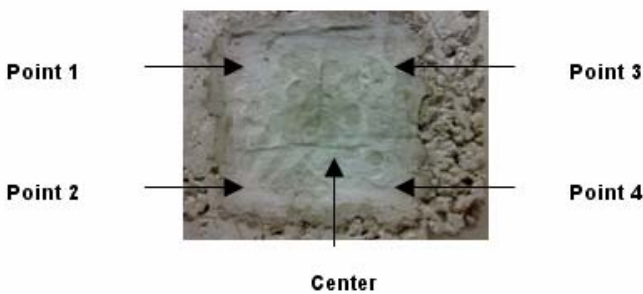
ในการทดลองครั้งนี้ใช้ชั้นทดสอบที่มีขนาดเหมือนกัน ส่วนผสมเท่ากันหมดทุกชั้นซึ่งจะมีคอนกรีตเก่าที่จำลองพื้นผิวความเสียหายขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และสูง 15 เซนติเมตร โดยมีบริเวณที่เสียหายขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร และลึก 5 เซนติเมตร โดยที่คอนกรีตเก่านั้นจะทำการบ่มด้วยอากาศเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วันก่อนนำมาทำการทดสอบทุกชั้น โดยที่ชั้นทดสอบนั้นจะมีอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.5 w/c สำหรับการทดสอบนั้นได้เริ่มทดสอบที่อุณหภูมิห้องเหมือนกันหมด



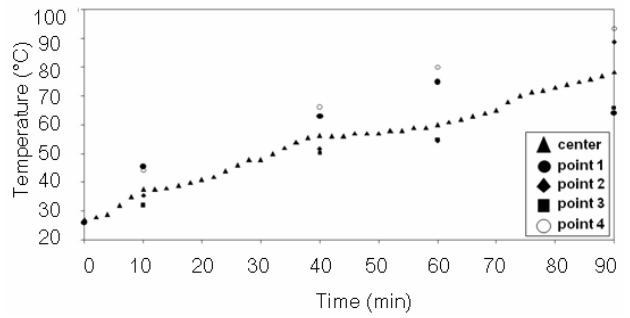
รูปที่ 6 ระบบไมโครเวฟสำหรับการบ่มคอนกรีต

5. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

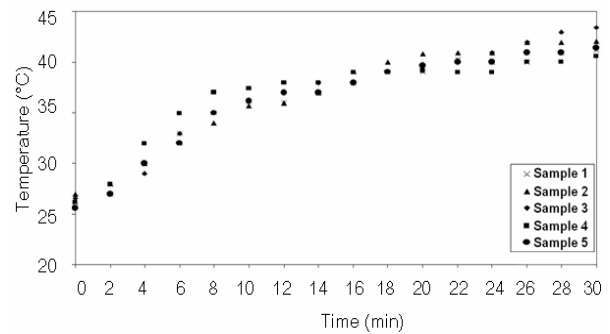
เครื่องบ่มแรงคอนกรีตที่ทำการซ่อมแซมคือจุดที่เททับด้วยคอนกรีตใหม่บริเวณที่ชำรุด ทำให้พื้นผิวหรือคอนกรีตเกิดความร้อน โดยจะคำนึงถึงอุณหภูมิภายในคอนกรีต ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต และความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผ่านการบ่มแล้ว โดยการทดลองจะแบ่งการบ่มเป็น 2 ประเภทคือ การบ่มคอนกรีตที่ทำการซ่อมแซมโดยธรรมชาติ (การบ่มด้วยน้ำและการบ่มด้วยอากาศ) และการบ่มคอนกรีตที่ทำการซ่อมแซมโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟ (การบ่มด้วยไมโครเวฟ 90 นาที, การบ่มด้วยอากาศร่วมกับไมโครเวฟ, การบ่มด้วยไมโครเวฟร่วมกับการบ่มด้วยอากาศ) ในการวัดอุณหภูมิจะทำการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว 5 จุด เพื่อดูการกระจายอุณหภูมิของคอนกรีต



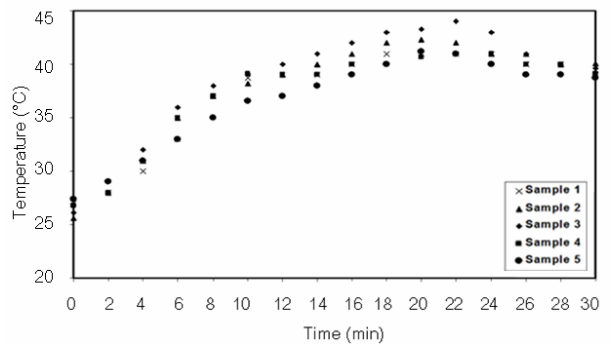
รูปที่ 7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิบนผิวหน้าของคอนกรีต



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาของการบ่มคอนกรีตที่ชำรุดเป็นเวลา 90 นาที



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของคอนกรีตทั้ง 5 ชั้นที่บ่มด้วยไมโครเวฟ 30 นาทีแล้วทิ้งในอากาศ 1 วัน

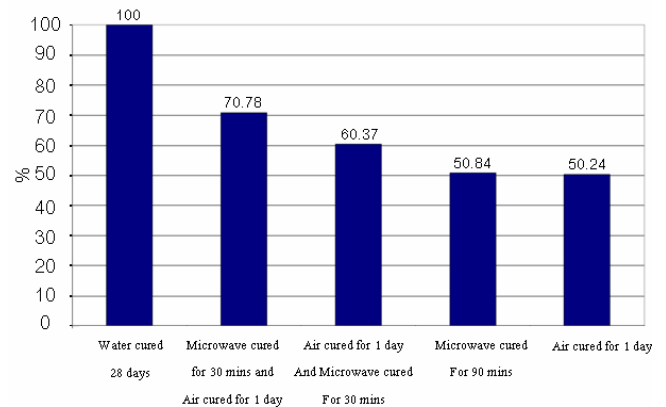


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของคอนกรีตทั้ง 5 ชั้นที่ทิ้งไว้ในอากาศ 1 วันแล้วบ่มด้วยไมโครเวฟ 30 นาที

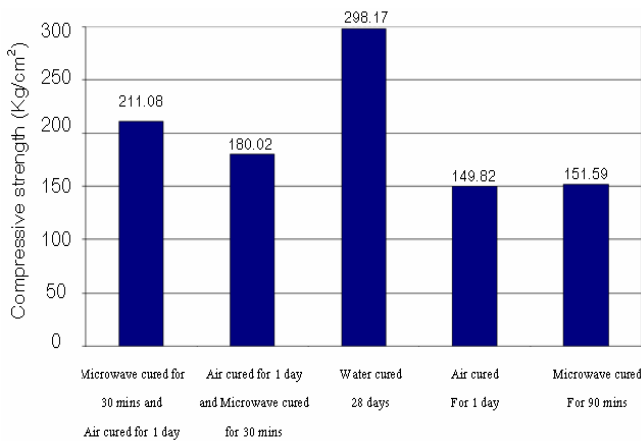
ตารางที่ 2 ค่ากำลังการอัดของการบ่มแต่ละประเภท

TYPE	TIME	Average Compressive strength (Kg/cm ²)
Microwave cured machine	Microwave cured for 30 mins and Air cured for 1 day	211.08
Microwave cured machine	Air cured for 1 day and Microwave cured for 30 mins	180.02
Water cured	28 days	298.19
Air cured	1 day	149.82
Microwave cured machine	Microwave cured for 90 mins	151.59

จากผลการทดลองการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 90 นาที จากรูปที่ 8 จะพบว่าคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกเกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลที่อยู่ภายในเกิดการสั่นซึ่งมีความถี่น้อยอยู่ภายในทำให้เกิดความร้อนโดยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากนั้นทำการบ่มด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 30 นาทีและทิ้งไว้ในอากาศ 1 วัน จากรูปที่ 9 พบว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำคอนกรีตทิ้งไว้ในอากาศ 1 วันแล้วบ่มด้วยไมโครเวฟ 30 นาที จากรูปที่ 10 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างคงที่จนถึงนาทีที่ท้ายๆ จะมีการลดลงของอุณหภูมิ เนื่องจากมีการทิ้งไว้ในอากาศ 1 วัน จึงทำให้มีการระเหยออกไปของความชื้นทำให้น้ำภายในคอนกรีตเหลือน้อยหลังจากนั้นได้นำชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นไปทำการทดสอบเพื่อหาความแข็งแรงของคอนกรีตซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 2



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละของกำลังการอัดในการบ่มต่าง ๆ เทียบกับการบ่มด้วยน้ำ 28 วัน



รูปที่ 11 ค่ากำลังการอัดเฉลี่ยของกรณีต่าง ๆ

จากรูปที่ 11 การเปรียบเทียบที่นำมาเปรียบเทียบจะนำค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงอัดมาแสดงเป็นกราฟโดยจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงอัดที่บ่มด้วยน้ำ 28 วัน จะมีค่าความแข็งแรงอัดมากที่สุดซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนแต่ในการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากโดยที่การบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 90 นาที จะมีค่าความแข็งแรงอัดมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการบ่มด้วยอากาศ 1 วันจะเห็นได้ว่าการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 90 นาที จะมีค่ากำลังอัดที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในกรณีต่าง ๆ และเมื่อนำค่ากำลังอัดมาเปรียบเทียบเป็นร้อยละของแต่ละกรณีกับการบ่มโดยใช้น้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน คิดเป็น 100 % จะได้ดังรูปที่ 12 การเปรียบเทียบที่นำมาเปรียบเทียบจะนำค่าเฉลี่ยของกำลังการอัดมาแสดงเป็นกราฟโดยจะเห็นได้ว่าค่ากำลังการอัดที่บ่มด้วยน้ำ 28 วัน จะมีค่ากำลังการอัดมากที่สุดอย่างเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งในที่นี่ได้ให้การบ่มน้ำที่ 28 วันเป็นค่าสูงสุดที่ 100 % แต่ในการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมากโดยที่การบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 90 นาทีจะมีค่ากำลังการอัดมากกว่าเมื่อเทียบกับการบ่มด้วยอากาศ 1 วันเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าหากพิจารณาเปรียบเทียบภายใน 1 วัน พบว่าการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตโดยใช้คลื่นไมโครเวฟด้วยเวลา 90 นาทีจะมีค่ากำลังอัดที่ดีกว่าค่ากำลังการอัดของการบ่มด้วยเครื่อง 30 นาทีแล้วทิ้งไว้ 1 วันกับการทิ้งไว้ 1 วันก่อนแล้วบ่ม 30 นาทีอยู่

เล็กน้อย แต่เมื่อนำค่าต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับค่าการบ่มด้วยอากาศ 1 วันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าความแข็งแรงที่ทำการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตสามารถพัฒนาค่าความแข็งแรงได้ดีกว่าและใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่า

6. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตพบว่า เมื่อทำการบ่มคอนกรีตด้วยไมโครเวฟทำให้คอนกรีตสามารถเร่งพัฒนากำลังอัดในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกำลังไมโครเวฟส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นเนื่องจากวัสดุคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก ดูดซับคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นภายในโดยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว

เมื่อนำคอนกรีตมาทดสอบค่าความแข็งแรงพบว่า การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำที่ 28 วันจะให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ 298.17 kg/cm² ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบการบ่มด้วยอากาศและบ่มด้วยไมโครเวฟจะให้ค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน คือ 149.83 kg/cm² และ 151.59 kg/cm² ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละโดยให้การบ่มด้วยน้ำซึ่งมีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์และการบ่มด้วยอากาศและบ่มด้วยไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 50.24 และ 50.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะพบว่า การบ่มด้วยน้ำนั้นจะให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุด ในขณะที่การบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตนั้นเท่ากับ 50.84% ขณะที่การบ่มด้วยอากาศ 1 วันเท่ากับ 50.4% ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกันแต่เมื่อมองถึงระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตนั้นจะช่วยประหยัดเวลาได้ประมาณ 22.5 ชั่วโมงและถ้าเปรียบเทียบกับค่าการบ่มด้วยน้ำที่ 28 วันและการบ่มด้วยไมโครเวฟ 90 นาที จะให้ความแข็งแรงประมาณ 50% ของการบ่มด้วยน้ำ ซึ่งถ้าเพิ่มเวลาการบ่มด้วยเครื่องบ่มคอนกรีตจะทำให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับการบ่มด้วยน้ำที่ 28 วัน ซึ่งถ้าหากนำไปใช้ซ่อมแซมผิวจราจรจะช่วยสามารถประหยัดเวลา และแรงงานจากการบ่มคอนกรีตด้วยวิธีแบบดั้งเดิม ผลที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้จะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาไปสู่การออกแบบให้เหมาะสมสำหรับการบ่มเร่งผิวจราจรโดยใช้พลังงานไมโครเวฟแบบเคลื่อนที่ต่อไปในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E) ในการอนุเคราะห์เครื่องคอมพิวเตอร์และสถานที่ให้แก่ผู้วิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rattanadecho, P., Suwannapum, N., Chatveera, B., Atong, D., and Makul, N., 2008 "Development of Compressive Strength of Cement Paste 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 Results and Feasibility for Practical Applications" *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 Concrete 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 Concrete Research*, Vol.27, No.3 p.463-472.
- [5] Hall, D.R., 2008 "Apparatus and Method for Heating a Paved Surface with Microwave" *United States Patent* 7, 413, 375 B2.
- [6] Jeppson, M.R. and Carmel, Calif., 1981 "Microwave Method and Apparatus for Heating Pavements" *United States Patent* 4, 252, 487.
- [7] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551, พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์