

การวิเคราะห์การพาความร้อนแบบธรรมชาติภายในวัสดุไดอิเล็กตริกที่ขับเคลื่อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

โดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (ทฤษฎีและการทดลอง)

นางวราภรณ์ กลิ่นบุญ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ที่มาและความสำคัญ

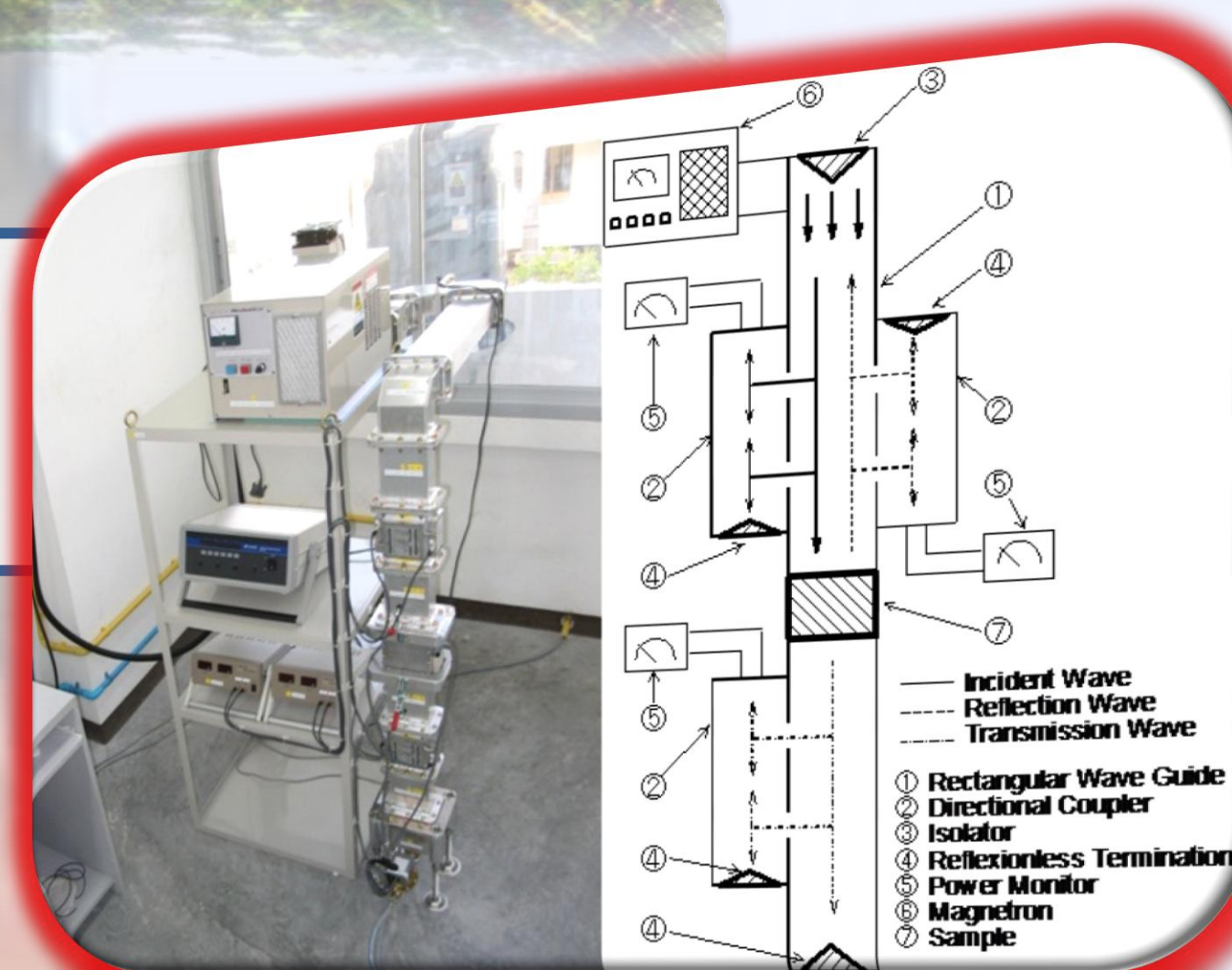
ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟจะเป็นไปอย่างแพร่หลาย แต่ที่ผ่านมารายงานการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ ระดับนานาชาติยังจำกัดอยู่กับวิธีแบบธรรมดา ส่วนใหญ่ในงานวิจัยกระบวนการใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟจะเน้นเฉพาะการทดลองซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในเชิงมหภาค ส่วนการวิเคราะห์ในเชิงอนุพันธ์ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของความเข้าใจปรากฏการณ์ทางกายภาพที่แท้จริงยังมีการวิจัยน้อยมาก งานวิจัยฉบับนี้จึงเกิดขึ้นโดยจะนำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทั้งเชิงทฤษฎีและการทดลองของกระบวนการทำความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริก ด้วยไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของการทำความร้อนวัสดุไดอิเล็กตริก ด้วยพลังงานไมโครเวฟ
- ทำการทดลองการทำความร้อนวัสดุไดอิเล็กตริก ด้วยพลังงานไมโครเวฟแบบท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม
- ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟของของเหลวสองชั้นและอิมัลชันน้ำ-น้ำมัน
- ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟของวัสดุพูนอิมัลชันแบบชั้นเดียวและสองชั้น

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องไมโครเวฟแบบท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม ภายใน Lab RCME

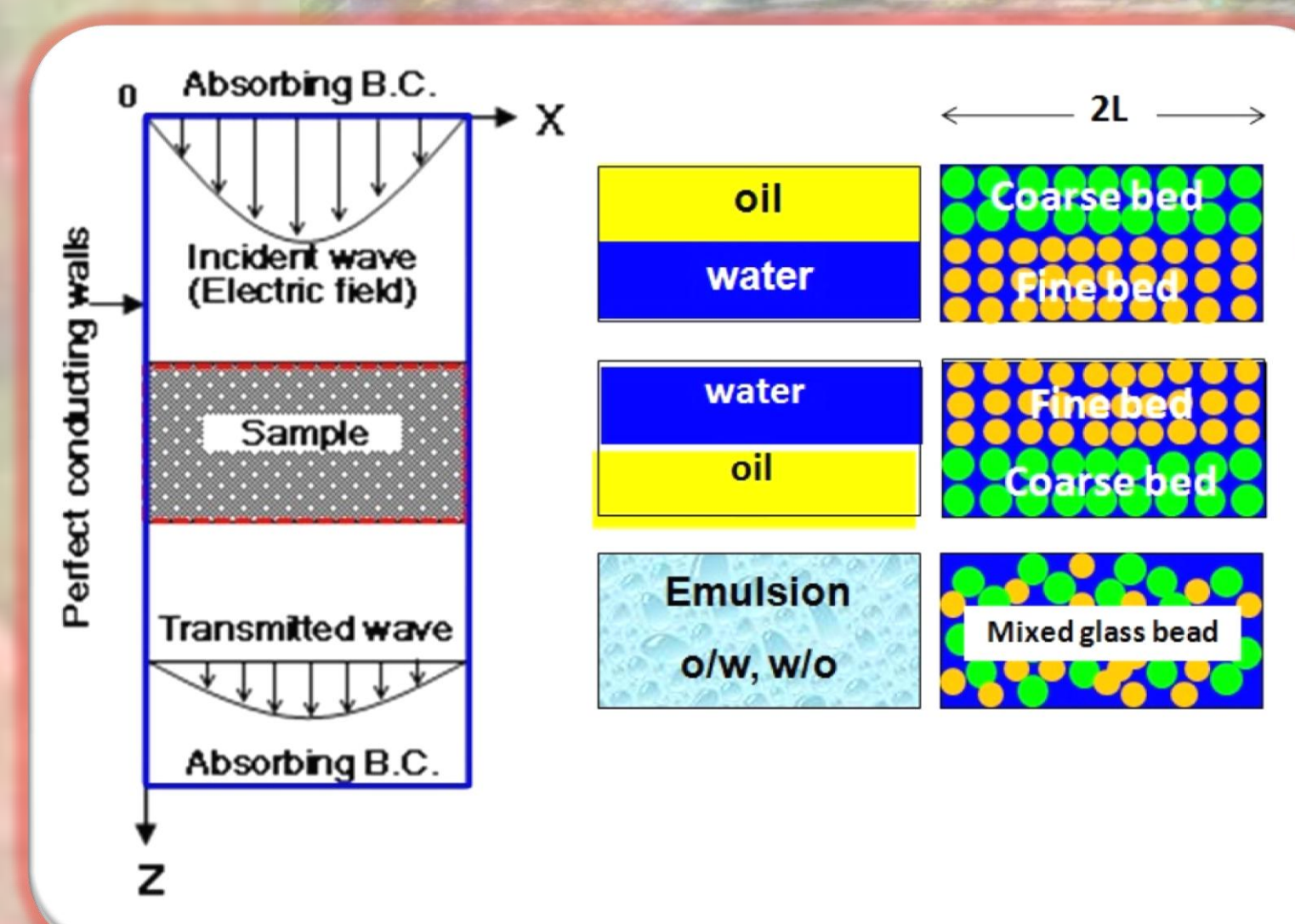


วัสดุไดอิเล็กตริก ได้แก่ น้ำ น้ำมัน อิมัลชัน วัสดุพูนชนิดอิมัลชัน

กล้องอินฟราเรด



แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

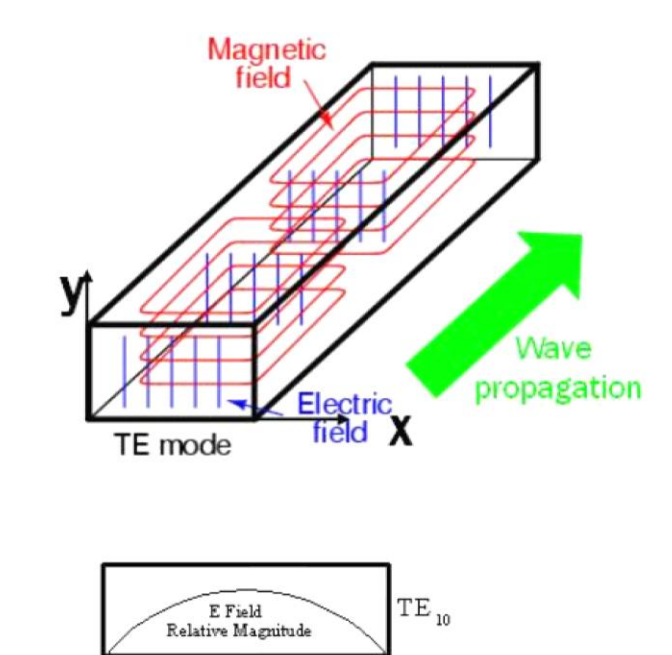


Analysis of electromagnetic field

TE₁₀ mode: $E_z = E_y = H_z = 0$

$$\begin{aligned} 1 \quad \frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \\ 2 \quad \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \\ 3 \quad \frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) - \sigma E_y \end{aligned}$$

where $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$
 $\mu = \mu_0 \mu_r$
 $\sigma = 2\pi f \epsilon \tan \delta$



Analysis fluid flow and heat transfer: porous packed bed

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \quad \text{(Continuity eq.)} \\ \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho_f} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho_f} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\ \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q \quad \text{(Energy eq.)} \end{aligned}$$

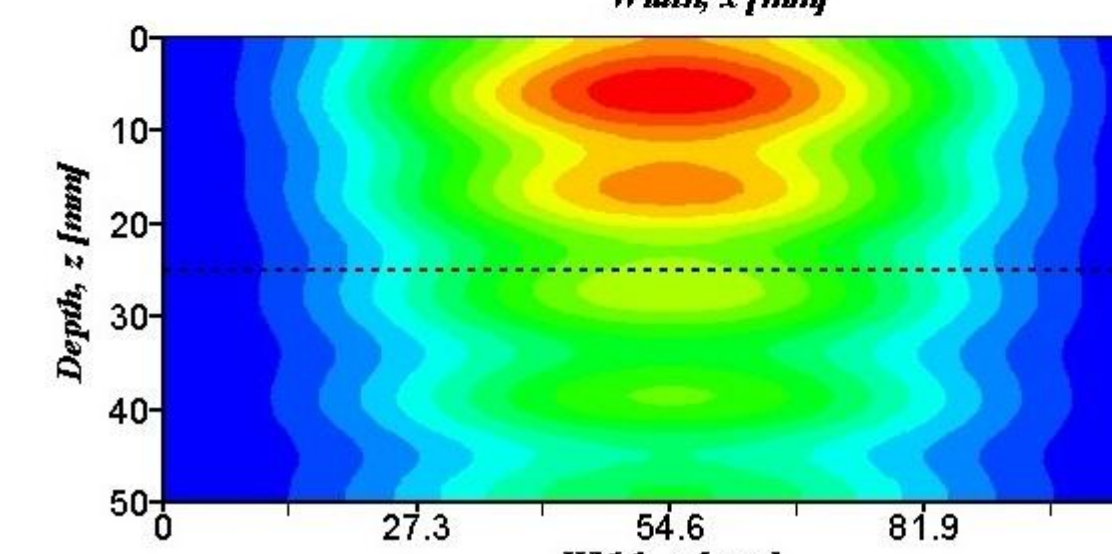
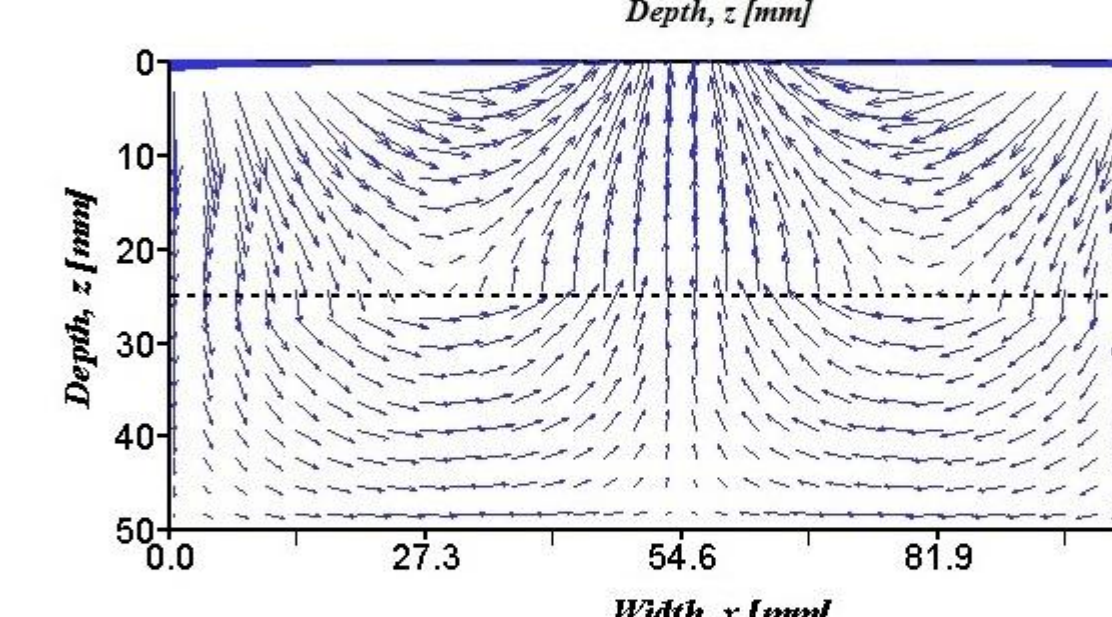
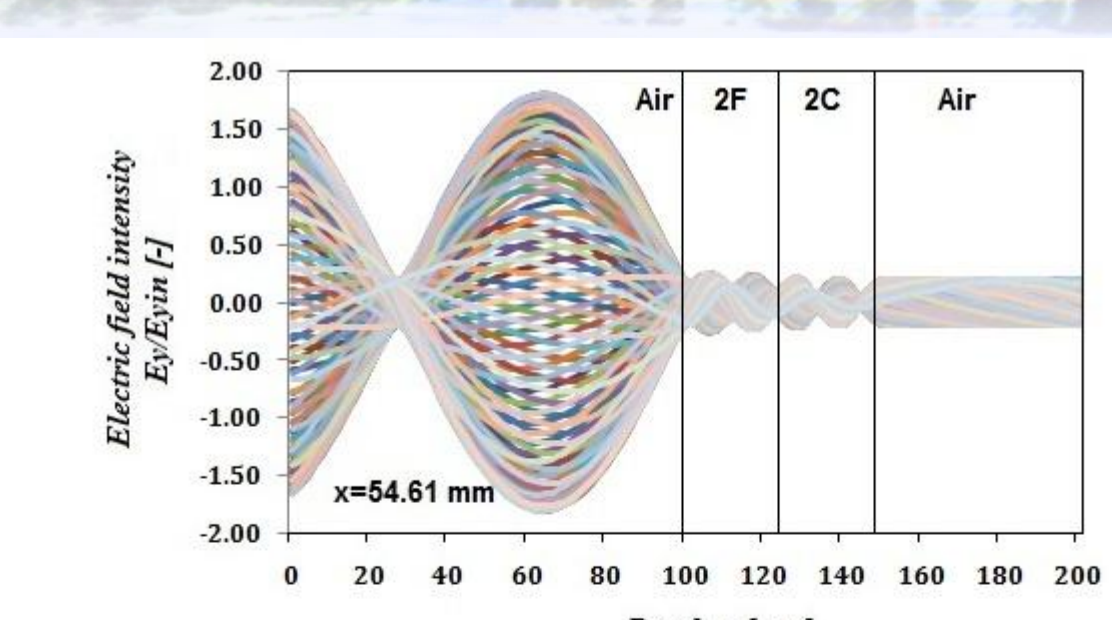
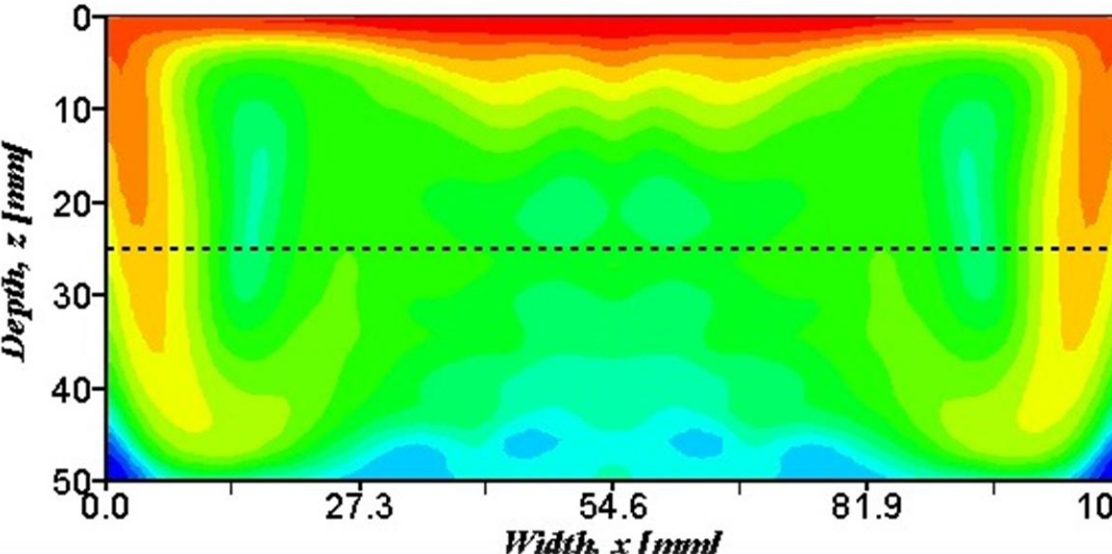
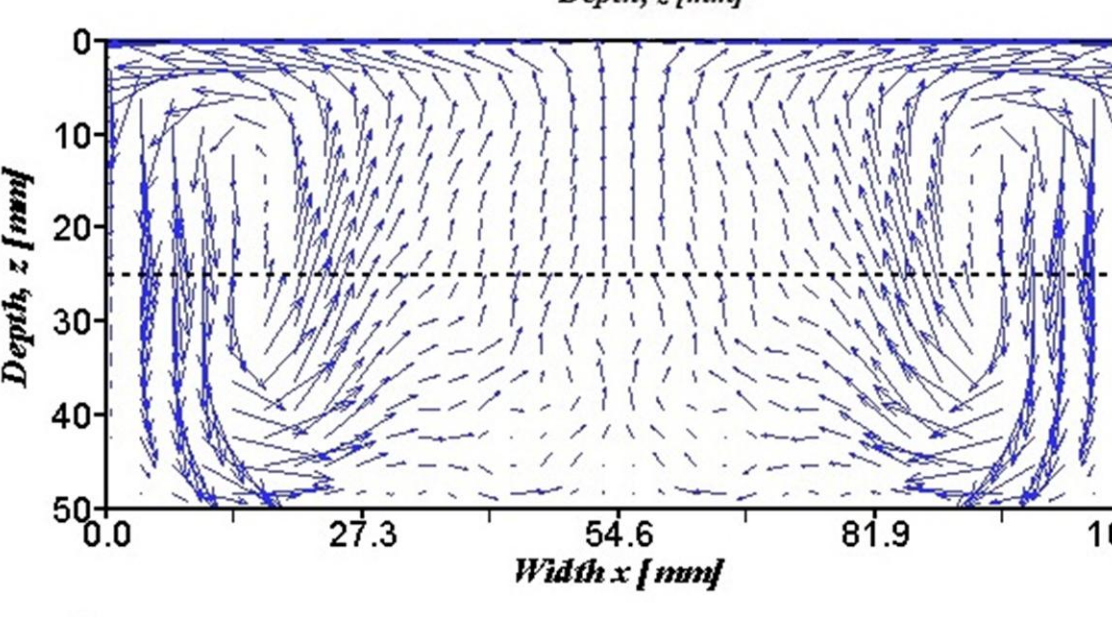
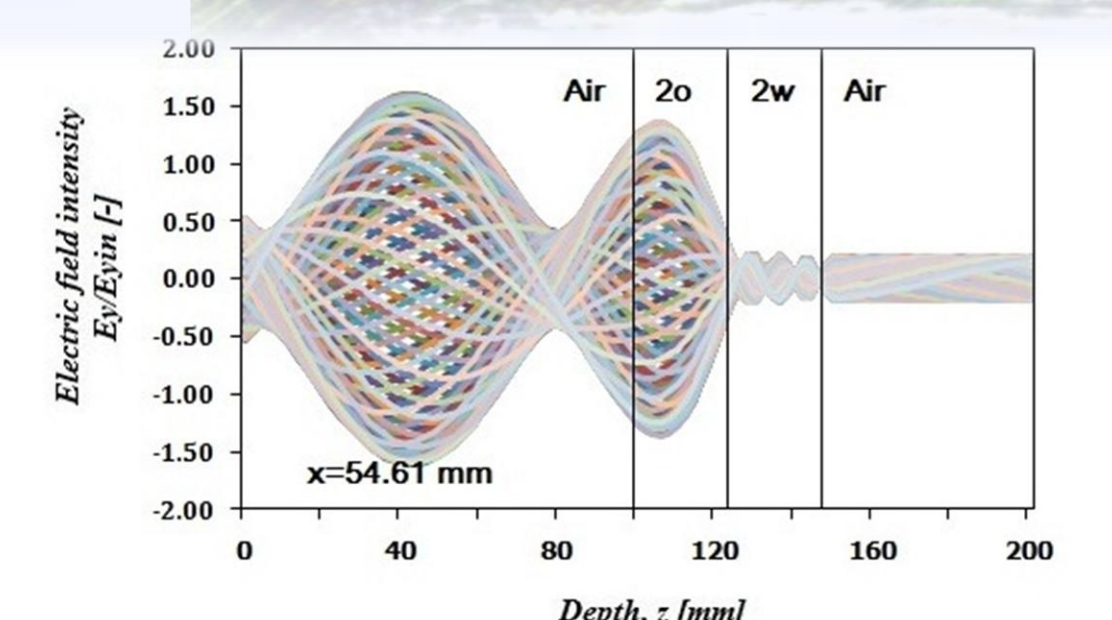
ϕ = porosity
 s = solid phase
 f = fluid phase
 $Q = 2\pi f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E_y^2$

Analysis fluid flow and heat transfer: liquid layer

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \quad \text{(Continuity eq.)} \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad \text{(Momentum eq.)} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_\infty) \\ \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q \quad \text{(Energy eq.)} \end{aligned}$$

ϕ = volume fraction of dispersed phase
 c = continuous phase
 d = dispersed phase
 $Q = 2\pi f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E_y^2$

ผลการทดลอง



ผลที่ได้จากการทดลอง (ก) การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ข) สนามความเร็ว (ค) คอนทัวร์อุณหภูมิ (ด้านซ้ายวัสดุทดสอบคืออิมัลชันน้ำมันในน้ำ ส่วนด้านขวาวัสดุทดสอบคือวัสดุพูนแบบเม็ดละเอียดอยู่ด้านบน)

สรุปผลการทดลอง

จากผลงานวิจัยที่ได้ในครั้งนี้ อาจกล่าวได้ว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงในชีวิตประจำวันและการเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ กล่าวคือ ในการนำไปประยุกต์ใช้จริงในชีวิตประจำวันนั้นคือ เทคนิคต่าง ๆ ที่จะทำให้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาอันสั้น ส่วนการเข้าใจอย่างลึกซึ้งในพฤติกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นและภายในวัสดุ ปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน รูปแบบการไหลของของเหลว ซึ่งจากลักษณะที่ทำการศึกษานี้สามารถต่อยอดในการศึกษาต่อไปในระดับสูงในอนาคตได้