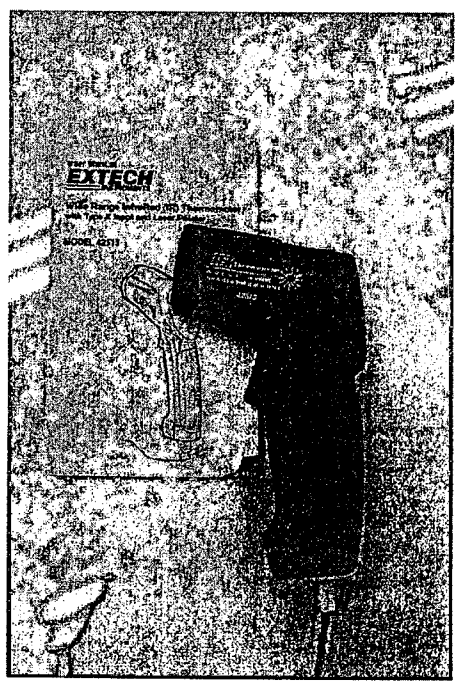
บทที่ 4
ผลการวิจัย/ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

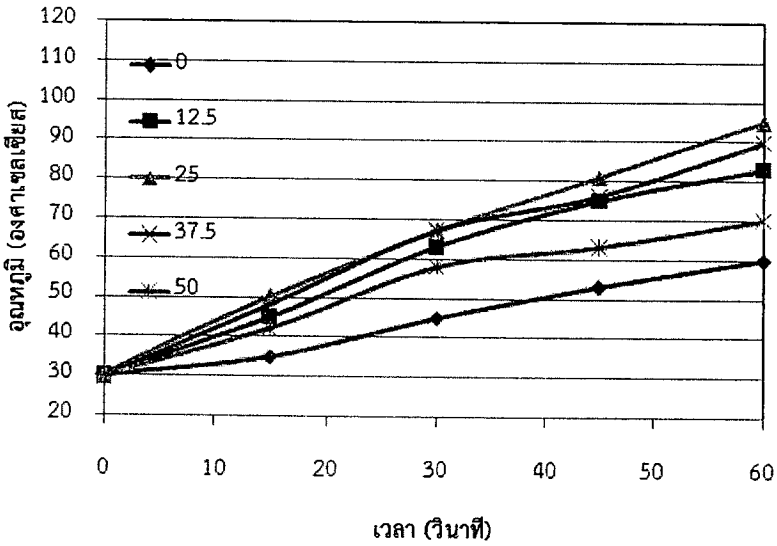
จากการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุไดอิเล็กตริกโดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบพาความร้อนภายใต้คาวิตี้ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมโหมดทีอี 10 และทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้นสามารถได้ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

1. การทดลองการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

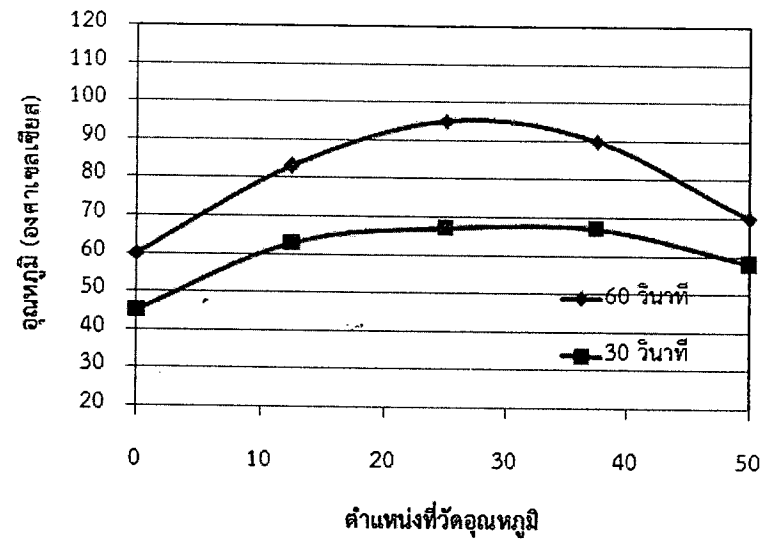
ในการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้นและวัดความร้อนด้วยอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ ของ EXTECH โมเดล 42515 (ดังภาพที่ 4-1) และทำการทดลองซ้ำในแต่ละการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลอง 5 ครั้ง สามารถเขียนผลได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4-1 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ ของ EXTECH โมเดล 42515



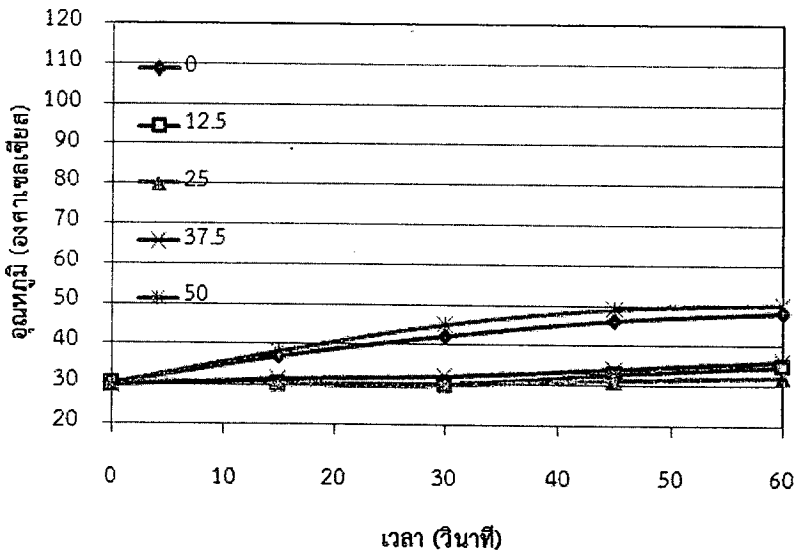
ภาพที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ภายใต้การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งความลึกต่างๆ ภายใต้การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ ที่เวลา 30 และ 60 วินาที

จากการทดลองด้วยการใช้พลังงานไมโครเวฟเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่า อุณหภูมิที่ผิววัสดุทดสอบที่ได้รับความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทุกตำแหน่งที่ทำการวัด ดังแสดงในภาพที่ 4-2 และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อสังเกตความชันของกราฟที่เวลาสิ้นสุดกระบวนการ นอกจากนั้นจากภาพที่ 4-3 เมื่อดูการกระจายตัวตามความลึกของวัสดุพบว่า

วัสดุทดสอบมีอุณหภูมิสูงที่สุดบริเวณตรงผิวหน้าตรงกึ่งกลางวัสดุ โดยอุณหภูมิที่ผิวหน้าด้านบนและด้านล่างจะมีค่าที่ต่ำกว่า และลักษณะแนวโน้มของอุณหภูมิคล้ายกราฟระฆังคว่ำ เหตุผลดังกล่าวเนื่องจาก โดยธรรมชาติของการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ผ่านวัสดุพร้อมทั้งถ่ายเทพลังงานคลื่นในเนื้อวัสดุและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ส่งผลให้ภายในเกิดการผลิตความร้อนในเชิงปริมาตรเกิดขึ้น นอกจากนั้นโดยธรรมชาติของคลื่น เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งจะเกิดการสะท้อนและทะลุผ่าน ส่งผลให้เกิดการสั่นพ้องของคลื่น และหากสภาวะวัสดุมีความเหมาะสม อาจส่งผลให้เกิดความร้อนสูงสุด ณ บริเวณกึ่งกลางวัสดุได้ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวสามารถสังเกตได้จากผลการทดลองนี้

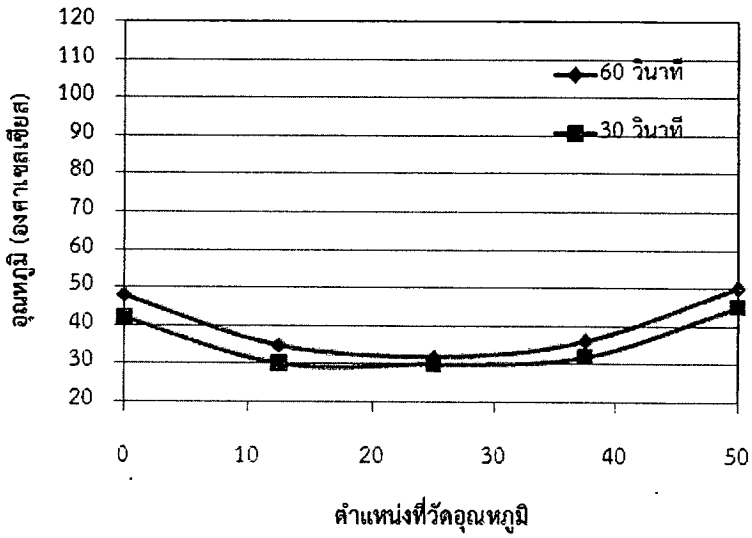


ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ภายใต้การทำความร้อนด้วยการพาความร้อนที่ผิว

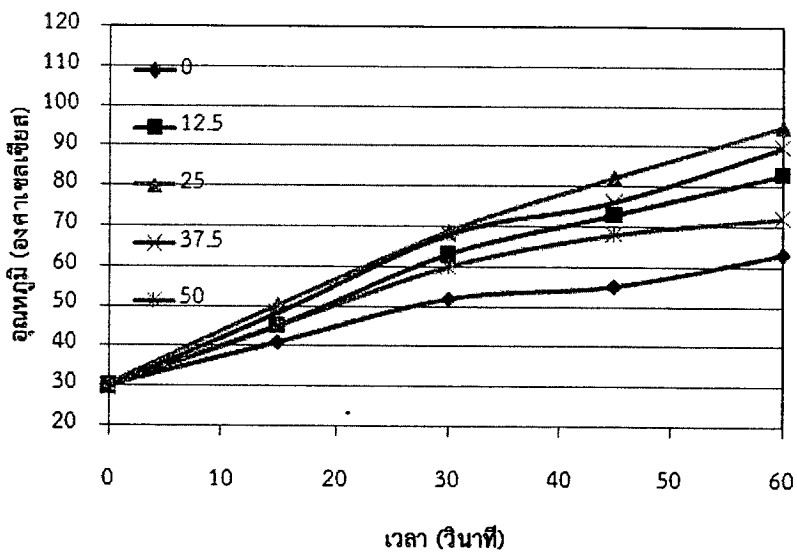
2. การทดลองการทำความร้อนด้วยระบบพาความร้อนที่ผิว

จากการทดลองด้วยการใช้ระบบพาความร้อนที่ผิวเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยควบคุมเงื่อนไขให้อุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมร้อนมีค่าประมาณเท่ากับ 60 $^{\circ}$C และ 2.5 m/s จากภาพที่ 4-4 และ 4-5 พบว่า อุณหภูมิที่ผิววัสดุด้านบนและด้านล่างซึ่งมีการสัมผัสโดยตรงกับลมร้อนมีอุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นก่อนตำแหน่งอื่นๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จะค่อยๆ ลดความชันลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับลมร้อน ในขณะที่อุณหภูมิที่ผิวด้านในวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่น้อย

มาก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทจากพื้นผิวด้านนอกและส่งต่อพลังงานเข้ามาภายในตัววัสดุด้วยการนำความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิจากภายนอกจะมีค่าสูงกว่าภายใน ซึ่งแสดงว่าในการทดลองนี้พฤติกรรมที่เกิดขึ้นยังคงเป็นปัญหาที่อยู่ในช่วงสภาวะไม่คงตัว



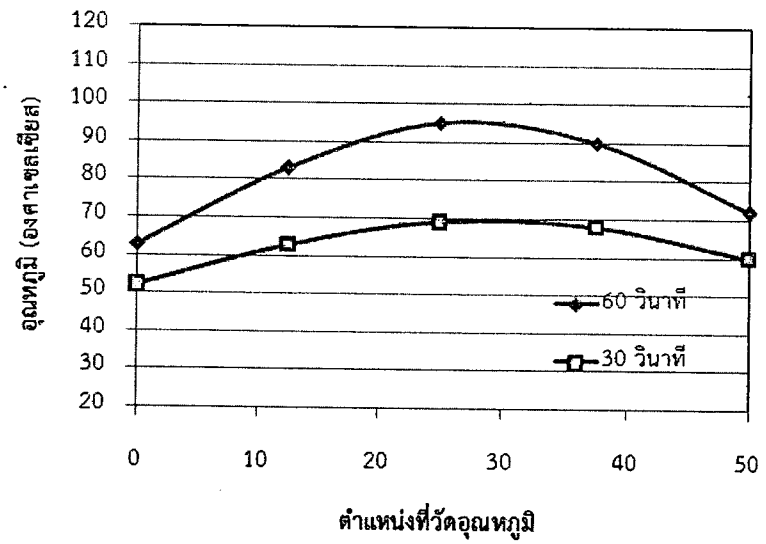
ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งความลึกต่างๆ ภายใต้การทำความร้อนด้วยการพาความร้อนที่ผิว ที่เวลา 30 และ 60 วินาที



ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ภายใต้การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิว

ในปัญหาการพาความร้อนที่เป็นลักษณะไม่คงตัวนี้หากใช้อุณหภูมิลมร้อนที่สูงมากกว่าการทดลองนี้อาจส่งผลต่อความเสียหายของผิวหน้าวัสดุทดสอบได้ ในขณะที่อุณหภูมิภายในวัสดุยังคงต่ำอยู่

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากลมร้อนกับการถ่ายเทความร้อนจากไมโครเวฟ พบว่า การถ่ายเทความร้อนแบบไมโครเวฟมีการเปลี่ยนแปลง และกระจายตัวทางด้านอุณหภูมิ ได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากไมโครเวฟมีการผลิตความร้อนในรูปปริมาตรทั้งก้อน ในขณะที่การพาความร้อนมีการส่งถ่ายพลังงานความร้อนจากผิวเข้าสู่ด้านในด้วยการนำความร้อนเท่านั้น



ภาพที่ 4-7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งความลึกต่างๆ
ภายใต้การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิว ที่เวลา 30 และ 60 วินาที

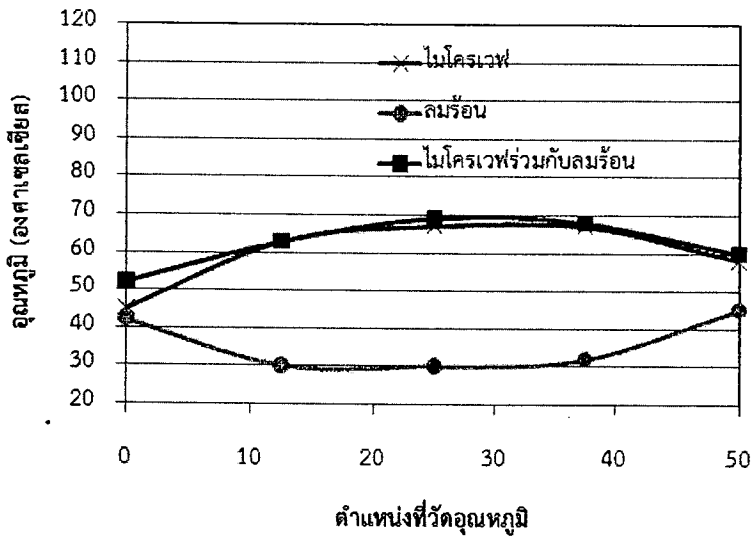
3. การทดลองการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบพาความร้อน

จากการทดลองการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบพาความร้อนนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาและการกระจายตัวของอุณหภูมิ มีลักษณะใกล้เคียงกับการทดลองกรณีใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถดูแนวโน้มเทียบเคียงได้ระหว่างภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-2 นอกจากนั้นเมื่อดูลักษณะการกระจายตัว ณ ตำแหน่งต่างๆ ของวัสดุ พบว่ายังคงมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายคลึงกับกรณีการใช้ไมโครเวฟอย่างเดียวเช่นกันดังแสดงในภาพที่ 4-7 แสดงว่าอิทธิพลของการทความร้อนมีอิทธิพลเหนือการพาความร้อนในเงื่อนไขการทดลอง

นี้ แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนพฤติกรรมจะมีลักษณะเปลี่ยนไปอย่างไร (เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์เชื่อมต่อ ส่งผลให้ไม่สามารถปรับอุณหภูมิให้สูงมากได้ ดังนั้นจึงไม่ได้ทดลองเงื่อนไขเพิ่มเติมในส่วนนี้)

4. การเปรียบเทียบการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบพาความร้อน และการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

เมื่อเปรียบเทียบผลทั้ง 2 กรณี พบว่าถึงแม้แนวโน้มพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาและการกระจายตัวของอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ หากดูผิดเผินจะใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณานำข้อมูลการกระจายตัวของอุณหภูมิมาเปรียบเทียบกันพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีที่มีการพาความร้อนที่ผิวเข้ามาช่วยในการถ่ายเทความร้อนนั้น ส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของวัสดุมีค่าที่ดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-8 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนทั้งสองแบบต่างมีข้อจำกัดนั่นคือ ไมโครเวฟจะให้อุณหภูมิสูงที่ตรงกลางในขณะที่การพาความร้อนที่ผิวจะให้อุณหภูมิสูงที่ผิวหน้า ดังนั้นเมื่อรวมจุดเด่นของทั้งสองวิธี ส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุดีขึ้น



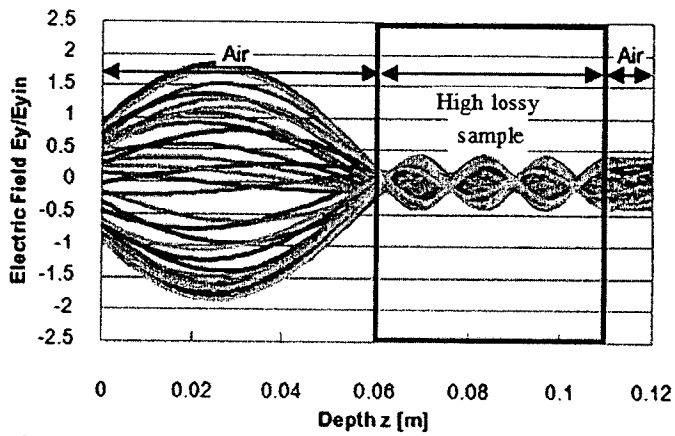
ภาพที่ 4-8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งความลึกต่างๆ ภายใต้การทำความร้อนแบบทั้ง 3 เงื่อนไข ที่เวลา 30 วินาที

5. การวิเคราะห์การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบพาความร้อนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

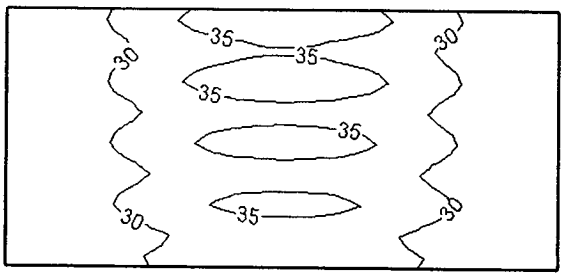
ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองนั้นจะศึกษาถึงอิทธิพลของการพาความร้อนที่ผิวจากกระบวนการพาความร้อนว่ามีผลกระทบต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนด้วยไมโครเวฟหรือไม่อย่างไร ซึ่งข้อมูลที่ศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการช่วยยืนยันความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้น

5.1 การวิเคราะห์การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ความร้อน และสมบัติไดอิเล็กตริก

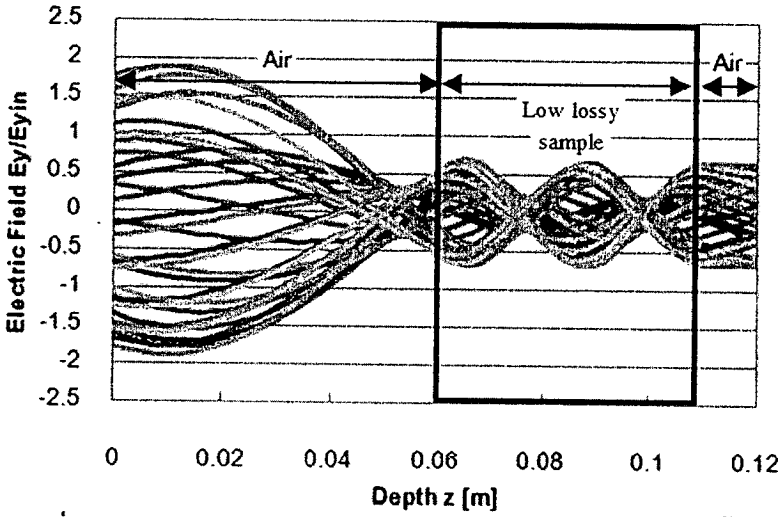
ภาพที่ 4-9 ถึง 4-12 แสดงถึงการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าและสนามความร้อนระหว่างวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสมบัติเชิงขั้วสูงและวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสมบัติเชิงขั้วต่ำ จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุจะขึ้นตรงกับการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าภายในวัสดุ ทั้งนี้เนื่องจาก สนามไฟฟ้าภายในวัสดุจะเป็นปัจจัยหลักในการที่วัสดุจะดูดซับพลังงานคลื่นสนามไฟฟ้ามาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และเมื่อวัสดุมีพลังงานความร้อนจะส่งผลโดยตรงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนั้นจากการสังเกตจะพบว่าการกระจายตัวในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสมบัติเชิงขั้วสูงจะมีลักษณะการกระจายตัวแบบลูกคลื่นน้อยกว่าวัสดุที่มีสมบัติสภาพเชิงขั้วน้อย เพราะว่าพลังงานสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสภาพเชิงขั้วสูง ทำให้พลังงานสนามไฟฟ้าหายไปอย่างรวดเร็ว



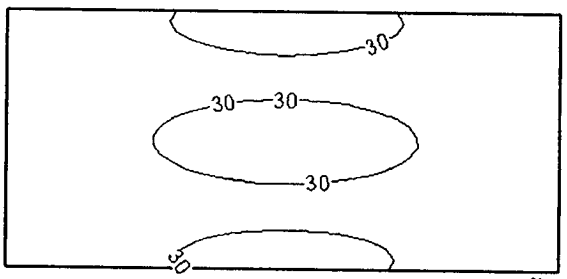
ภาพที่ 4-9 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วสูง



ภาพที่ 4-10 การกระจายตัวของอุณหภูมิ (°C) ในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีวัสดุไม่มีการพาความร้อนที่ผิวหน้า ที่เวลา 60 วินาที



ภาพที่ 4-11 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วต่ำ

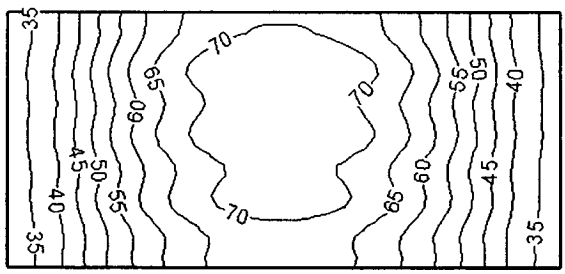


ภาพที่ 4-12 การกระจายตัวของอุณหภูมิ (°C) ในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีวัสดุไม่มีการพาความร้อนที่ผิวหน้า ที่เวลา 60 วินาที

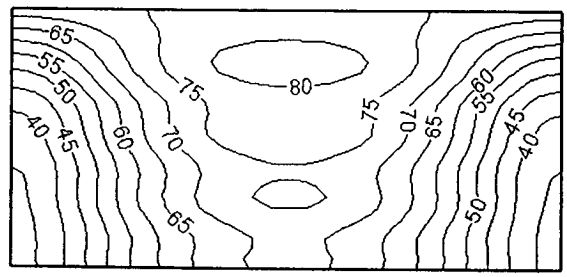
5.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของการพาความร้อนที่ผิวในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วสูง

ภาพที่ 4-13 ถึง 4-16 แสดงถึงผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสมบัติเชิงขั้วสูง 4 กรณีได้แก่ ใช้พลังงานไมโครเวฟอย่างเดียว ใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพา

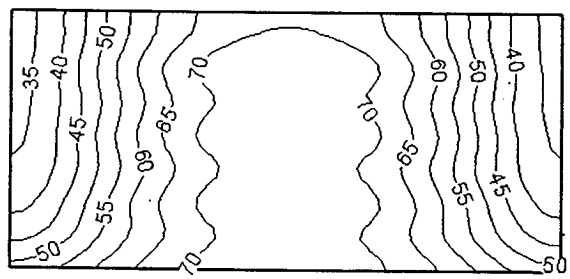
ความร้อนที่ผิวด้านบน ใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้านล่าง และใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุเกิดจากอิทธิพลหลักสองอย่างคือ การเกิดความร้อนแบบปริมาตรภายในจากพลังงานไมโครเวฟ และการถ่ายเทความร้อนที่ผิวจากการพาความร้อนจากลมร้อน ภาพที่ 4-13 ในกรณีที่แหล่งพลังงานความร้อนมาจากพลังงานไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว การกระจายตัวของอุณหภูมิซึ่งมีค่าสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางของวัสดุจากอิทธิพลของการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าภายในเท่านั้น ดังนั้น วัสดุอาจเกิดความเสียหายภายในในขณะที่ภายนอกยังดูปกติได้ในทางปฏิบัติ สำหรับผลการวิเคราะห์ในภาพที่ 4-14 และ 4-15 ซึ่งเป็นกรณีการใช้ลมร้อนในการพาความร้อนที่ผิวด้านบนหรือด้านล่าง ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีขึ้นจากอิทธิพลการช่วยเหลือของลมร้อนไม่ว่ากรณีการพาความร้อนที่ผิวด้านบนหรือด้านล่าง อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของอุณหภูมิดังกล่าวก็ยังไม่ดีพอที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีความสม่ำเสมอภายในวัสดุ เนื่องจากยังปรากฏให้เห็นจุดร้อนและจุดเย็นภายในจากผลของแบบจำลอง ทั้งนี้เนื่องจาก ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากลมร้อนไปยังวัสดุที่ผิวหน้านั้นเป็นการถ่ายเทฟลักซ์แบบการพาความร้อน และฟลักซ์ความร้อนนี้จะถูกส่งต่อไปยังวัสดุด้วยอิทธิพลการนำความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัสดุไดอิเล็กตริกจะมีสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำดังนั้นหากชิ้นงานที่มีความหนามากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนจะไม่มีประสิทธิภาพ ภาพที่ 4-14 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีที่ใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ผิวหน้าทั้งบนและล่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายตัวที่ดี เนื่องจากอิทธิพลของลมร้อนช่วยลดปัญหาจุดเย็นในวัสดุจากอิทธิพลของไมโครเวฟส่งผลให้การกระจายตัวมีความสม่ำเสมอที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ



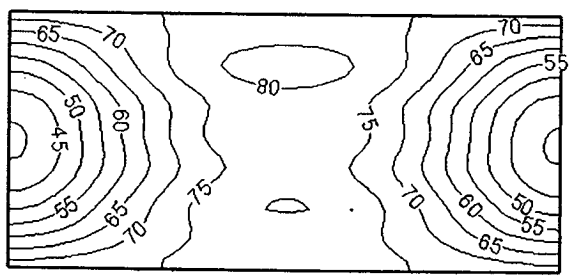
ภาพที่ 4-13 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟอย่างเดียว ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที



ภาพที่ 4-14 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบน ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที



ภาพที่ 4-15 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที

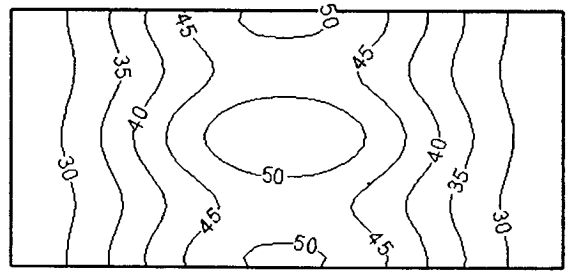


ภาพที่ 4-16 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที

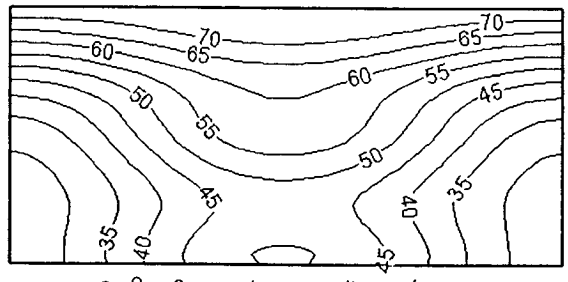
5.3 การวิเคราะห์อิทธิพลของการพาความร้อนที่ผิวในกรณีวัสดุสมบัติเชิงขั้วต่ำ

ภาพที่ 4-17 ถึง 4-20 แสดงถึงผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีสมบัติเชิงขั้วต่ำ 4 กรณีได้แก่ ใช้พลังงานไมโครเวฟอย่างเดียว ใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้านบน ใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้านล่าง และใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ

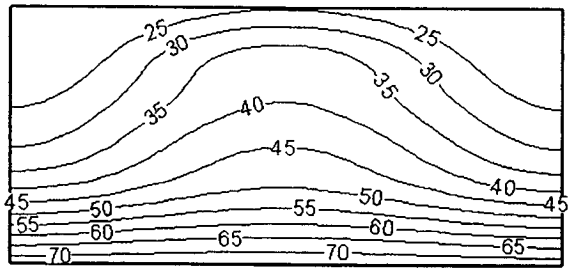
ภายในวัสดุแนวโน้มเหมือนกับกรณีวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่าอิทธิพลของการพาความร้อนจะมีบทบาทสำคัญสูงกว่าการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กตริกสภาพเชิงขั้วต่ำที่ผลิตขึ้นมีค่าน้อย เนื่องจากมีค่าการดูดซับพลังงานสนามไฟฟ้าที่น้อย ส่งผลให้อิทธิพลของพลังงานไมโครเวฟไม่เด่นชัดเท่ากับกรณีวัสดุไดอิเล็กตริกสภาพเชิงขั้วสูงเมื่อใช้ร่วมกับการพาความร้อนที่ผิวด้วยลมร้อน



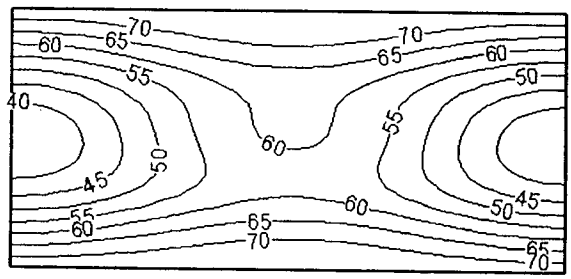
ภาพที่ 4-17 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟอย่างเดียว ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที



ภาพที่ 4-18 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบน ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที

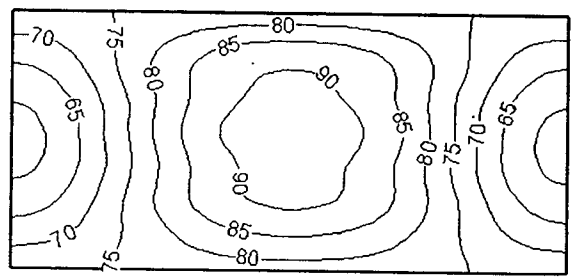


ภาพที่ 4-19 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที



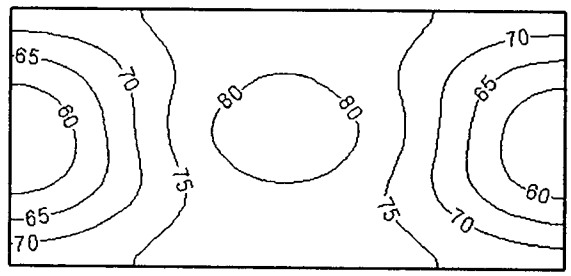
ภาพที่ 4-20 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 300 วินาที

5.4 อิทธิพลของการพาความร้อนที่ผิวต่อวัสดุสมบัติเชิงขั้วต่ำและวัสดุสมบัติเชิงขั้วสูง



ภาพที่ 4-21 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วสูง กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 600 วินาที

ภาพที่ 4-21 และ 4-22 แสดงผลอิทธิพลของการใช้ลมร้อนพาความร้อนที่ผิววัสดุทั้งด้านบนและด้านล่างร่วมกับการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ จากผลการวิเคราะห์พบว่าไม่ว่าจะในกรณีวัสดุไดอิเล็กตริกแบบสมบัติเชิงขั้วต่ำหรือสูงก็ให้แนวโน้มที่เหมือนกันซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งการใช้ลมร้อนจากภายนอกนั้นมีส่วนช่วยอย่างยิ่งต่อการทำให้การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอมากขึ้น อย่างไรก็ตามสมบัติไดอิเล็กตริกนั้นก็ยังคงเป็นปัจจัยหลักต่อการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟซึ่งสังเกตได้จากค่าอุณหภูมิที่กระจายในวัสดุที่แตกต่างกันระหว่างวัสดุชนิดสมบัติเชิงขั้วต่ำและชนิดสมบัติเชิงขั้วสูง



ภาพที่ 4-22 การกระจายอุณหภูมิ (°C) ในกรณีของวัสดุไดอิเล็กตริกสมบัติเชิงขั้วต่ำ กรณีใช้พลังงานไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อนที่ผิวด้านบนและล่าง ที่เวลาการทำความร้อน 600 วินาที