

## ABSTRACT

The thin metal film has been used with microwaveable foods in the most widespread types of absorbed or reflected packaging system since late 1970s. The thin metal film is an accessory in food contact packaging that absorbs or shield microwave while is warming up. This research studied the influence of thin metal film for heating frozen foods in a domestic microwave oven having thin metallized layer deposited on plastic package. The research steps are following: The first, frozen foods with thin metal film and frozen foods without thin metal film were tempered in a microwave oven at 2450 MHz and 800 W. The results showed that the addition of thin metal film does improve the microwave heating process. Then, the effect of optimum design of metal film; including shapes, numbers and position, has been shown via the temperature profiles within a sample.

The second, this study was to develop a mathematical model to predict spatial and temporal variations in temperature of model frozen foods during microwave heating. A mathematical model was developed by solving coupled Maxwell's electromagnetic and Fourier's heat transfer equations using finite element (FE) method in COMSOL Multiphysics 4.4 software. Optimization of modeling parameters such as computational meshing size, heating time step, frequency, and electric field strength was performed to increase accuracy of the prediction of the temperature profile. The model was validated by conducting microwave heating experiments.

This result will help food product developers to design frozen foods product to minimize energy use and food safety concerns. So, this work is a quality improvement. In addition, this will be a useful data for government regulatory agencies, implementation on industries application and most importantly for consumers.

**Keywords:** Electromagnetic field; Frozen food; Microwave heating; Thin metal film

## บทคัดย่อ

แผ่นฟิล์มโลหะบางถูกนำมาใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารที่ใช้กับไมโครเวฟหลากหลายลักษณะและประเภทตั้งแต่ ช่วง ค.ศ. 1970 โดยเป็นอุปกรณ์เสริมในบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสกับอาหาร ทำหน้าที่ดูดกลืนหรือป้องกันคลื่นไมโครเวฟขณะอุ่นร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของแผ่นฟิล์มโลหะบางที่ติดกับบรรจุภัณฑ์ของอาหารแช่แข็ง เมื่อนำไปอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟครัวเรือน โดยมีขั้นตอนของการศึกษาวิจัยดังนี้ ส่วนแรกจะศึกษาพฤติกรรมในการทำความร้อนของอาหารแช่แข็งในบรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นฟิล์มโลหะบางและไม่มีแผ่นฟิล์มโลหะบาง ที่ถูกทำความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟครัวเรือน ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตและกำลัง 800 วัตต์ ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มโลหะบางมีผลต่อการปรับปรุงกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ จากนั้นจึงแสดงอิทธิพลของการออกแบบแผ่นฟิล์มโลหะบางที่เหมาะสมที่สุดได้แก่รูปร่าง จำนวน และตำแหน่ง ที่มีต่อรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตัวอย่างอาหาร

ส่วนที่สองได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายพฤติกรรมทำความร้อนของอาหารแช่แข็งในบรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นฟิล์มโลหะบาง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พัฒนาจากการแก้สมการแมกเวลล์และสมการการนำความร้อนของฟูเรียร์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขไฟไนต์เอลิเมนต์ ของโปรแกรมคอมไพเลอร์พีซี (เวอร์ชัน 4.4) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนี้ได้กำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ขนาดของเมช ช่วงเวลา ความถี่ และความเข้มของสนามไฟฟ้า เพื่อให้ได้ค่าของอุณหภูมิจากการคำนวณที่ถูกต้องที่สุด นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่วัดได้จากไฟเบอร์ออปติกในระหว่างการทดลองอีกด้วย

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะช่วยนักพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารในการออกแบบอาหารแช่แข็งพร้อมบรรจุภัณฑ์ ที่สามารถลดการใช้พลังงานและลดความกังวลในด้านความปลอดภัยของอาหาร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่างานวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงคุณภาพ สุดท้ายข้อมูลที่ได้จากการศึกษายังเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งหน่วยงานในกำกับของรัฐบาล ภาคอุตสาหกรรม และโดยเฉพาะผู้บริโภค

**คำหลัก:** สนามแม่เหล็กไฟฟ้า, อาหารแช่แข็ง, การทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ, แผ่นฟิล์มโลหะบาง