

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับการนำกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีปริมาณของกำมะถันต่างกันทั้งหมด 4 สูตร ด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode:  $TE_{10}$ ) ทำงานที่ระดับที่ 2.45 GHz. สามารถแปรเปลี่ยนกำลังได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1,500 วัตต์ โดยทำการศึกษาทั้งในส่วนของการทดลองและในส่วนของทฤษฎี

ในส่วนของการทดลองจะทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟในการอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการวัลคาไนซ์ ตัวแปรที่ศึกษาสำหรับการทดลอง คือ กำลังไมโครเวฟ ความหนาของชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ และองค์ประกอบของส่วนผสมในชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ โดยจะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ในรูปของสมบัติทางความร้อนและโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติคอมพาวด์หลังอุ่นด้วยไมโครเวฟ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่ากระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถใช้อุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ให้เริ่มร้อนก่อนเข้าสู่กระบวนการวัลคาไนซ์ได้ นอกจากนี้พบว่ากระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถใช้อุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีความหนามากกว่า 1 ซม. ได้ การอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์โดยใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะ (cross-linked) ขึ้นเมื่อวัดด้วยเครื่อง FTIR และสุดท้าย ปริมาณกำมะถันที่ต่างกันส่งผลน้อยมากต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของยางธรรมชาติคอมพาวด์ภายใต้กระบวนการอุ่นด้วยไมโครเวฟ นอกจากนี้ยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่เติมเซมาดำจะมีค่าความสามารถในแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่เติมเซมา เนื่องจากความแตกต่างของค่าจินตภาพของสมบัติไดอิเล็กตริก

ในส่วนของการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีเป็นการศึกษาเพื่อดูผลของการดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟและลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ (เปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง) ภายใต้กระบวนการอุ่นด้วยไมโครเวฟ โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ ความหนาของชิ้นงาน และความถี่ไมโครเวฟ วิเคราะห์ผลที่ได้โดยดูสมบัติทางความร้อนเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองซึ่งใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาช่วยในการแก้สมการแมกเวลล์และสมการการส่งถ่ายความร้อน ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลอง

ประโยชน์ขององค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับกระบวนการคงรูปยางธรรมชาติในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

### Abstract

This paper presents an application of microwave heating for pre-heating of natural rubber compound with various sulphur contents using a rectangular wave guide (Mode:  $TE_{10}$ ). It operates at frequency of 2.45 GHz in which the power can vary from 0 to 1,500 W. The experimental and numerical studies were conducted in the present work.

In the experimental part, microwave was applied to heating the natural rubber compound for the purpose of pre-heating before vulcanisation process. The influence of power input, sample thickness, and component of natural rubber compound were examined. Results were discussed in views of the thermal properties and chemical structures of natural rubber compound after being pre-heated by microwave. It was found the result that, firstly, microwave heating can be applied to pre-heating natural rubber compound before vulcanisation process. Secondly, microwave heating was very useful that it is able to pre-heat natural rubber compound that has thickness greater than 1 cm. Thirdly, cross-linking in natural rubber compound may occur after pre-heating by microwave heating though FTIR measurement. Finally, there were a few effects of sulphur content on temperature profiles after applying microwave pre-heating in the natural rubber compound. Moreover, natural rubber compound without carbon black showed a lower loss tangent coefficient compared with natural rubber compound filled with carbon black. This is due to the difference in dielectric loss factor.

The main in purposes of numerical work is to study microwave power absorbed and temperature propagation within natural rubber compound (compared with the experimental) under microwave pre-heating. The influence of power input, sample thickness, and microwave frequency were examined. The results were discussed in views of the thermal properties compared with the experimental results by using numerical scheme that includes Maxwell's equation and heat transport equation. The numerical results from this study are able to explain behavior of temperature propagation as well as the experimental results.

This preliminary result along with the fundamental study of microwave to pre-heating natural rubber compound is considered a useful information that can be applied to rubber processing in industries.