รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดร่วมกับลมร้อนแก่การวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

COMBI NED HOT-AIR CONVECTION AND INFRARED RADIATION HEATING FOR THE VULCANIZATION OF RUBBER GLOVE

โดยธนศิษฎ์ วงศ์ศิริอำนวยและคณะ

ธันวาคม 2551

สัญญาเลขที่ RDG5050064

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดร่วมกับลมร้อนแก่การวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

COMBI NED HOT-AIR CONVECTION AND INFRARED RADIATION HEATING FOR THE VULCANIZATION OF RUBBER GLOVE

คณะผู้วิจัย

ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นักศึกษาช่วยทำวิจัย

นางสาวฐิตามร เขื่อนปัญญา

นางสาววงเดือน พูนสวัสดิ์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟาเรดร่วมกับลมร้อนแก่การวัลคาไนซ์ถุงมือยาง
Combined Hot-Air convection and Infrared Radiation Heating in the Vulcanization of Rubber Glove

ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 053-878-123
โทรสาร 053-498-902
E-mail thanasit@mju.ac.th

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นางสาวฐิตามร เขื่อนปัญญา
นางสาววงเดือน พูนสวัสดิ์

ระยะเวลาดำเนินการ 17 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2550 ถึงวันที่ 1 ธันวาคม 2551

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในงานวิจัยที่ผ่านมาของนักวิจัยได้ศึกษาการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด พบว่าใช้เวลาสั้นกว่าการอบด้วยลมร้อนและความร้อน แต่พบว่าอุณหภูมิกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งถุงมือยางเหมือนกับการอบด้วยลมร้อน ในวิจัยนี้จึงนำลมร้อนมาใช้ร่วมกับฮีทเตอร์อินฟาเรดแบบไฟฟ้า เพื่อช่วยให้อุณหภูมิถุงมือสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์สม่ำเสมอและสุกทั่วทั้งถุงมือพร้อมกัน การใช้ลมร้อนหรืออบด้วยความร้อนจะใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นานประมาณครึ่งชั่วโมง หากใช้อินฟาเรดเวลาจะสั้นกว่า หากนำมาใช้ร่วมกันจะช่วยลดเวลาลงได้และหากเปรียบเทียบการใช้พลังงาน การใช้ร่วมกันจะใช้พลังงานน้อยกว่าการอบด้วยลมร้อนและความร้อนแบบทั่วไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในการอบวัลคาไนซ์โดยใช้ลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟาเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่เหมาะสำหรับการใช้ในระดับชุมชน

ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด ให้ใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับถุงมือยาง โดยศึกษาตัวแปร เช่น เวลาในการวัลคาไนซ์ อุณหภูมิบนแม่พิมพ์ และถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบอุณหภูมิของแม่พิมพ์ถุงมือยางขณะอบวัลคาไนซ์มีกระจายสม่ำเสมอมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 อุณหภูมิ ที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 5 และ 10 เซนติเมตร และ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่าง 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ถุงมือยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ดังข้างต้นและมีสมบัติทางกายภาพดี คือเกิดการวัลคาไนซ์สมบูรณ์ ถุงมือสุก ไม่ขาด ไม่ไหม้ เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ในด้านความแข็งแรงได้แก่ ความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของถุงมือแพทย์ที่ใช้ครั้ง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน มีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานโดยรวมประมาณ 5.11 กิโลวัตต์ ในกระบวนการวัลคาไนซ์ยางการใช้อุณหภูมิและเวลาต่างกัน มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า ส่วนระยะห่างมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยมากแต่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิมากกว่า หากเปรียบเทียบปริมาณการไฟฟ้าที่ใช้กับแบบอินฟราเรดจะใช้สูงกว่า 1-2 เท่า และเทียบกับแบบลมร้อนแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจะใช้พลังงานต่ำกว่าประมาณร้อยละ 77-88 และใช้เวลาสั้นกว่าร้อยละ 66-83

สรุปผลการวิจัย

การวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟาเรดร่วมกับลมร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสม เวลาและระยะห่างที่เหมาะสมนั้น มีหลายสภาวะด้วยกันหากพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางวัสดุที่เป็นไปตามมาตรฐานของถุงมือยาง หากพิจารณาในด้านการใช้พลังงานนั้น จะพบว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เวลาสั้นจะทำให้ใช้พลังงานต่ำสุด หากพิจารณาจากระยะห่างที่เหมาะสมที่ทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งถุงมือขณะทำการอบเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้ทั่วถึง ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ดังนั้นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมควรคำนึงถึงปัจจัยร่วมในเพื่อใช้พิจารณา นอกจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แล้วยังควรคำนึงถึงความสุกและการวัลคาไนซ์ที่สม่ำเสมอที่เกิดจากการได้รับความร้อนที่สม่ำเสมอจะมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

การนำผลการวิจัยไปใช้ในการประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมน้ำยางแบบธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่า เนื่องจากในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนนั้นใช้เวลาในการวัลคาไนซ์สั้น และทำให้อุณหภูมิของถุงมือยางกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งมือ แต่ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการวิจัยสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยได้ทดสอบแม่พิมพ์ทีละ 1 แม่พิมพ์ หากจะมีการนำช่วงอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์แบบอื่น ควรทดสอบทีละหลายแม่พิมพ์ในตู้อบเพื่อพิจารณาในส่วนระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับจำนวนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอบ โดยการนำสภาวะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เพื่อการเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนนำไปใช้ต่อไป

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้น ซึ่งสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ต่อยอดวิชาการและเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับการกระจายความร้อนจากการแผ่รังสีร่วมกันการพาความร้อน ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในเชิงอุตสาหกรรมและน่าจะจดสิทธิบัตรได้อีกด้วย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการทำอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับยางพาราเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกระบวนการวัลคาไนซ์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตู้อบวัลคาไนซ์ยางด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจากเครื่องต้นแบบ ที่เป็นตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด เพื่อที่จะช่วยลดการใช้พลังงานและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ยางแต่ละครั้ง โดยได้เพิ่มชุดเป่าลมร้อนเพื่อใช้ร่วมกับอินฟราเรด โดยใช้ฮีทเตอร์ครีบ ขนาด 1,500 วัตต์ 2 ชุด เครื่องเป่าลมร้อน (Blower) ขนาด 1/8 แรงม้า ความเร็วรอบ 2,850 รอบต่อนาที 1 เครื่อง อุณหภูมิของถุงมือยางอยู่ที่ 80, 100 และ120 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับชิ้นงาน 5, 10 และ 15 เซนติเมตร และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง 5, 10 และ 15 นาที จากการศึกษาและพัฒนาตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนได้ผลการทดสอบดังนี้ พบว่าถุงมือยางจะสุกทั่วทั้งมือ และมีการวัลคาไนซ์สม่ำเสมอ ส่วนคุณสมบัติของยางหลังการวัลคาไนซ์เป็นไปตามมาตรฐาน โดยที่เปอร์เซ็นต์ Elongation at break อยู่ในช่วง 300-1,000 % โดยสภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 5 และ 10 เซนติเมตร และที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่าง 5, 10 และ 15 เซนติเมตร โดยใช้เวลาเพียง 5 นาทีในการวัลคาไนซ์ถุงมือยาง ส่วนปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จะต่ำกว่าประมาณร้อยละ 77-88 และใช้เวลาสั้นกว่าร้อยละ 66-83 เมื่อเทียบกับแบบลมร้อน

ABSTRACT

Presently, the natural rubber industry has substantially increased in Thailand. Vulcanization is an important process for producing rubber products. The objective of this study is to develop a dryer machine that is a combination of two heater sources (infrared and hot air). The purpose is to decrease energy and time usage in the glove vulcanization process. This machine has improved from the first model by using a 3,000 W hot air bower and a 1/8 HP infrared heater. This study varies the level of temperature (80, 100 and 120°C), distance between the heater and the sample (5, 10 and 15 cm), and vulcanization time (5, 10 and 15 min). Our experiment result, show that we can achieved a quality gloves in according to standard to have percent of elongation break from 300-1000 %. The condition setting for this finding is at the temperature of heater sources at 80, distance of the heater and the gloves 10 and 15 cm, and 100 °C distance 5, 10 and 15 cm, and heated for 5 min. Electric demands are lower than hot air with 77-88% and use the shortage time about 66-83%.

เนื้อหา

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในงานวิจัยที่ผ่านมาของนักวิจัย ธนศิษฏ์และคณะ(2549) ได้ศึกษาการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด พบว่าใช้เวลาสั้นกว่าการใช้ลมร้อนและการอบด้วยความร้อน แต่พบว่าการกระจายอุณหภูมิบนถุงมือยางไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งมือเหมือนกับลมร้อน โดยจะมีอุณหภูมิสูงบริเวณฝ่ามือ แต่บริเวณอื่นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากการใช้ลมร้อนเป็นการให้ความร้อนแบบการพาความร้อนทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนให้กับถุงมือยางทั่วทั้งแม่พิมพ์ทำให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอกว่า จึงมีแนวคิดเพื่อนำลมร้อนมาใช้ร่วมกับฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบใช้ไฟฟ้า การอบวัลคาไนซ์ในตู้อบลมร้อนแบบทั่วไปนั้นจะได้ความร้อนจากฮีทเตอร์และมีพัดลมเป่าลมหมุนเวียนภายในตู้อบ ตั้งแต่เริ่มทำการอบจะใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 2 ส่วน คือฮีทเตอร์ไฟฟ้าและมอเตอร์เพื่อหมุนเวียนลม มีการให้ความร้อนและลมพร้อมกัน ทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับลมที่ระบายทิ้งไปและต้องให้พลังงานกับฮีทเตอร์นานและมากขึ้นเพื่อทำให้ถุงมือยางมีอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการอบวัลคาไนซ์ และขณะทำการอบวัลคาไนซ์จะใช้พลังงานมากกว่าการอบด้วยความร้อนเนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนไปกับลมด้วยบางส่วน ส่วนการให้ความร้อนแบบอินฟราเรดนั้นอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งมือแต่ให้ความร้อนรวดเร็วกว่าแบบลมร้อน ดังนั้นจึงอาศัยลมร้อนช่วยให้อุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอขณะทำการวัลคาไนซ์ถุงมือยาง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อหาแนวทางการอบวัลคาไนซ์ที่ใช้เวลาสั้นกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าและการวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันกับวิธีการให้ความร้อนแบบอื่นๆ

ในงานวิจัยนี้ต้องการจะหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบวัลคาไนซ์ที่นำลมร้อนมาใช้ร่วมกับฮีทเตอร์อินฟราเรด เพื่อทำให้มีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอและการวัลคาไนซ์ยางสม่ำเสมอทั่วทั้งแม่พิมพ์มือ อีกทั้งยังเป็นแนวทางพัฒนาการใช้อินฟราเรดร่วมกับลมเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการวัลคาไนซ์ุงมือยางที่ประหยัดพลังงานกว่าการใช้ลมร้อนและความร้อนแบบทั่วไป

2.วัตถุประสงค์

มีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในการอบวัลคาไนซ์โดยใช้ลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่เหมาะสำหรับการใช้ในระดับชุมชน

วัตถุประสงค์ย่อยคือ

1. เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดร่วมร่วมกับลมร้อน

2. เพื่อศึกษาสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์เมื่อใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ถุงมือยาง

3. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานเมื่อทำการวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

3.ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนศิษฏ์และคณะ(2549) ได้ออกแบบและสร้างตู้อบ เพื่อศึกษาการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยฮีทเตอร์แบบอินฟราเรดพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่เหมาะสมเป็น 80 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ ส่วนระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับผิวหน้าแบบพิมพ์ควรมีระยะ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ถุงมือยางมีอุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอเกือบทั่วทั้งแบบพิมพ์

ศิศีโรตม์ และคณะ (2545) ได้ออกแบบเครื่องอบเมล็ดและฝักถั่วด้วยคลื่นอินฟราเรด โดยเครื่องอบสามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 199 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ตั้งมีความเที่ยงตรงจึงสามารถหาระยะเวลาที่แน่นอนในการลดความชื้นของฝักถั่ว ลักษณะเด่นของเครื่องอบนี้คือการนำเอา ฮีทเตอร์แบบอินฟราเรดมาใช้แทนฮีทเตอร์แบบวงผึ้ง พบว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการแผ่ความร้อนได้ดีกว่า ความร้อนที่ได้นั้นเป็นความร้อนชนิดเดียวกับแสงแดดจึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน เครื่องอบมีความปลอดภัยมากกว่าการอบด้วยไมโครเวฟและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เครื่องอบดังกล่าวสามารถนำมาอบผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ได้ เช่น พืชจำพวกสมุนไพรที่มีราคาแพงและหายาก และสามารถนำไปใช้ในห้องวิทยาศาสตร์หรือห้องทดลองตามโรงเรียนต่าง ๆ

Umesh และคณะ (2004) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับพืชผัก โดยระบบถูกออกแบบให้ทำงานด้วยการอบแห้งด้วยอินฟราเรดช่วงกลาง การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จากการศึกษาการอบแห้งแครอทและมันฝรั่งแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิเครื่องอบ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิร้อน 40 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยลดเวลาการอบแห้งได้ร้อยละ 48 และสามารถประหยัดพลังงานได้ ร้อยละ 63 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนได้ผลที่ดีกว่าแบบอินฟราเรดอย่างเดียว ประสิทธิภาพของเครื่องอบสำหรับแครอทและมันฝรั่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 38

อำไพศักดิ์ และธนภัทร (2550) ศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิอบแห้ง ความเร็วลม และกำลังงานที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรด โดยระยะห่างระหว่างแท่งอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์และขนาดของผลิตภัณฑ์คงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบ

สมรรถนะการอบแห้ง คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูงและมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นพบว่า การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนกับรังสีอินฟราเรด ควรใช้ความเร็วลมอย่างน้อย 0.3เมตรต่อวินาที เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

Hall (1962) ได้สรุปทฤษฎีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดว่าสามารถอบแห้งได้รวดเร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและเหมาะกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นบาง โดยการดูดซับพลังงานจะเกิดขึ้นในช่วงคลื่นเฉพาะ เกิดการดูดซับบนผิวและนำความร้อนสู่ภายในตัวอย่าง การดูดซับความร้อนในการอบแห้งมีปัจจัยสำคัญคือ ความยาวคลื่น ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด คุณสมบัติของผิวหน้า ความชื้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ รังสีอินฟราเรดจากแก๊สมีความยาวคลื่นประมาณ 3-5 ไมครอน ยาวกว่ารังสีอินฟราเรดจากหลอดไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นช่วง 1-1.25 ไมครอน การดูดซับพลังงานลดลงเมื่อความชื้นมีค่าลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

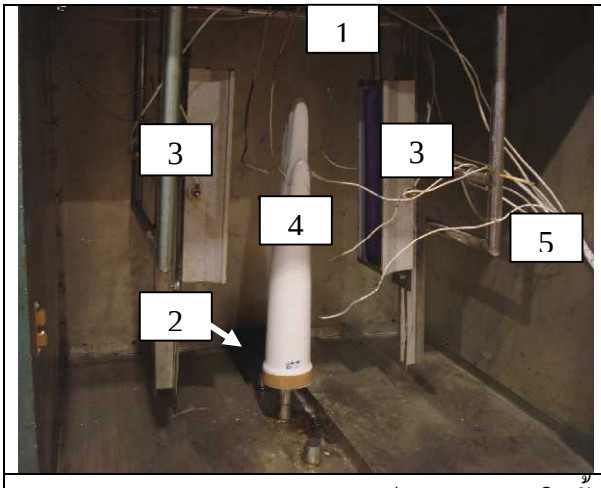
4. ขั้นตอนและวิธีการทำงาน

4.1 การปรับปรุงตู้อบวัลคาไนซ์ยาง

ได้ปรับปรุงตู้อบอินฟราเรดให้สามารถใช้ร่วมกับลมร้อน โดยได้ติดตั้งและปรับปรุงตู้อบโดยเพิ่มช่องเพื่อสำหรับติดตั้งฮีทเตอร์แบบครีบและท่อลมร้อนสำหรับหมุนเวียนลมร้อนภายในตู้อบและติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและไฟฟ้าเมื่อใช้ลมร้อนและติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

1 ช่องลมร้อนเข้าตู้อบและฮีทเตอร์ครีบ
2.โบลว์เวอร์และท่อหมุนเวียนลม
3.อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า
4.มิเตอร์ไฟฟ้า

รูป 1 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์บนตู้อบด้านนอก



1. ช่องลมร้อนเข้าตู้อบและฮีทเตอร์ครีบ
2. ช่องดูดลมออกจากตู้อบด้วยโบลว์เวอร์
3. ฮีทเตอร์อินฟราเรด
4. แม่พิมพ์
5. สายเทอร์โมคัปเปิล ใช้วัดอุณหภูมิ

รูป 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ด้านในตู้อบ

4.2 การเตรียมน้ำยาง สารช่วยให้จับน้ำยางและแม่พิมพ์ถุงมือยาง

การเตรียมถุงมือยางก่อนการวัลคาไนซ์

1. เตรียมน้ำยางชนิดพรีวัลคาไนซ์ (PVHA)

2. นำแม่พิมพ์ถุงมือยางที่สะอาดแล้วไปอุ่นให้แม่พิมพ์ถุงมือยางแห้งหมาดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที

3. นำแม่พิมพ์ที่อุ่นแล้วจุ่มลงในสารช่วยให้น้ำยางจับตัวที่เป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แม่พิมพ์แห้งโดยการอบ เป็นเวลา 2-3 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

4. นำแม่พิมพ์ถุงมือยางที่แห้งหมาดจากข้อที่ 3. จุ่มน้ำยางเป็นเวลา 10 วินาที

5. หมุนแม่พิมพ์ถุงมือยางอย่างช้า ๆ ในแนวนอน 5 รอบ และในแนวตั้ง 5 รอบเพื่อให้น้ำยางมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแม่พิมพ์ถุงมือยางและไม่ให้หยดน้ำยางติด

6. นำไปอบในตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

4.3. การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

ปัจจัยที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

ก. แหล่งกำเนิดความร้อน มี 2 แบบ อินฟราเรดและอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ข. ช่วงอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	**ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ (เซนติเมตร)**	**เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์(นาที)**
80 ,100 และ 120	5, 10 และ 15	5, 10 และ 15

4.4 การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางขณะที่อบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

การทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิรอบถุงมือยางการใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล (ชนิดเค) วัดตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด 7 จุด ทั่วทั้งถุงมือยางขณะอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยจะวัดอุณหภูมิทั่วทั้งชิ้นงาน โดยกำหนดได้ดังนี้คือ จุด P1 วัดอุณหภูมิบริเวณตรงกลางฝ่ามือด้านซ้าย P2 วัดอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือด้านขวา P3 วัดอุณหภูมิบริเวณปลายนิ้วมือด้านซ้าย P4 วัดอุณหภูมิบริเวณปลายนิ้วมือด้านขวา P5 วัดอุณหภูมิบริเวณสันมือด้านซ้าย P6 วัดอุณหภูมิบริเวณสันมือด้านขวา และ P7 วัดอุณหภูมิบริเวณข้อมือ โดยต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับ Data Logger อ่านค่าอุณหภูมิที่ได้

4.5 การทดสอบคุณสมบัติของถุงมือยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์

การทดสอบการยืดอยู่ตัว (Tension set) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 : Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension)

- นำถุงมือยางที่ได้มาตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยที่ชิ้นทดสอบมีความหนา 0.7 มิลลิเมตร และใช้ระยะพิกัด 33 มิลลิเมตร
- วัดแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง โดยจัดเตรียมถุงมือที่ตัดเป็นรูปดัมบ์เบลล์เรียบร้อยแล้วมาขึงไว้กับตัวจับยึดชิ้นงาน
- จากนั้นใช้โหลดขนาด 10 กิโลนิวตัน ในการดึงถุงมือยางจนขาด จะได้แรงทั้งหมดที่ใช้ในการดึงถุงมือยางแบบดัมบ์เบลล์จนขาดลักษณะการดึง
- ตรวจสอบรอยขาดอยู่ตรงบริเวณที่ต้องการให้ขาดหรือไม่

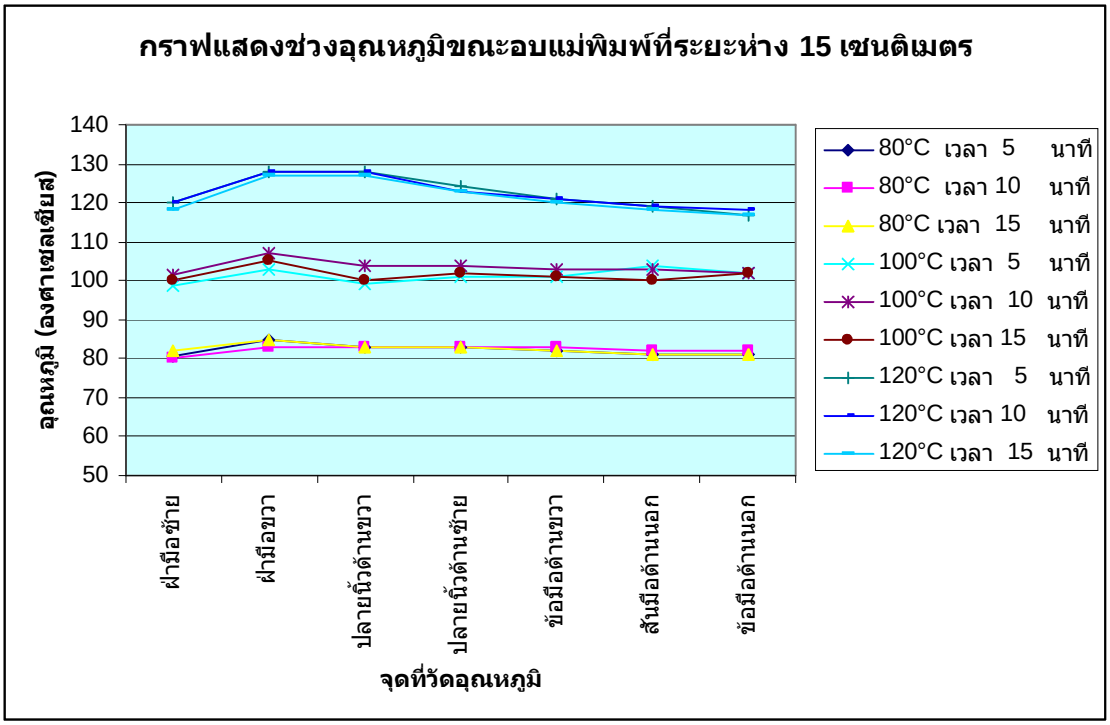
4.6 การทดสอบหาค่าพลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

การทดสอบหาค่าพลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่ใช้ฮีทเตอร์ขนาด 1,500 วัตต์ 2 ตัว ฮีทเตอร์อินฟราเรดขนาด 1,000 วัตต์ 2 ตัว Blower ขนาด 94.5 วัตต์ 1 ตัว ในการอบวัลคาไนซ์ยางแต่ละครั้งอ่านค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้า โดยแยกมิเตอร์ไฟฟ้า 3 ตัว โดยวัดพลังงานที่ใช้จากแหล่งกำเนิดความร้อน 2 แหล่ง คือ ฮีทเตอร์อินฟราเรด ฮีทเตอร์ความร้อนแบบครีบ และ Blower

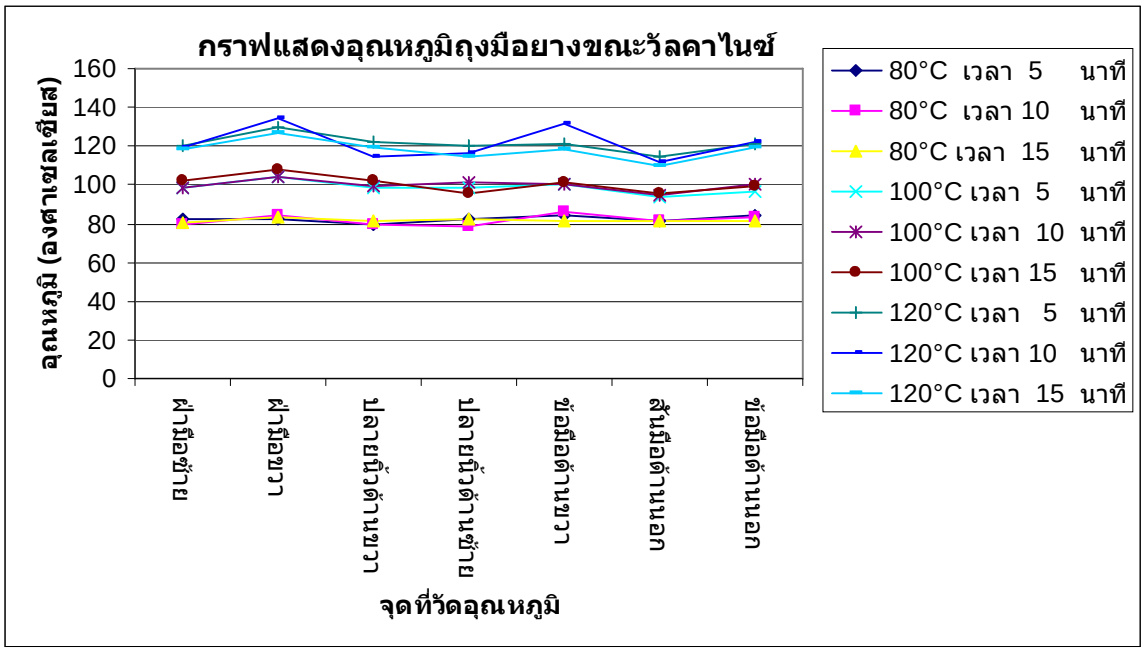
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการกระจายของอุณหภูมิของถุงมือยางด้วยการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ขณะทำการอบวัลคาไนซ์ถุงมือจะได้รับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนสองแหล่ง คือจากหลอดรังสีอินฟราเรด และลมร้อนจากฮีทเตอร์ความร้อนแบบครีบ โดยถุงมือยางจะได้รับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่บริเวณหน้าและหลังมือ ส่วนด้านบนปลายนิ้ว และซอกนิ้ว สันมือและข้อมือด้านข้างจะได้รับความร้อนจากลมร้อน ซึ่งการได้รับความร้อนนั้นจะส่งผลต่อการสุกของถุงมือยาง จากการทดลองพบว่าการกระจายอุณหภูมิบนแม่พิมพ์ถุงมือยางขณะให้ความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ตามรูป 3 ที่แสดงการกระจายอุณหภูมิขณะทำการอบแม่พิมพ์ที่ยังไม่ผ่านการจุ่มน้ำยางที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ที่ 15 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับการกระจายอุณหภูมิบนถุงมือยาง ตามรูป 4 ที่แสดงการกระจายอุณหภูมิขณะทำการวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ที่ 15 เซนติเมตร พบว่าอุณหภูมิฝ่ามือบริเวณที่ตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรดและลมร้อน โดยส่วนใหญ่จะพบว่าการอุณหภูมิมีความสม่ำเสมอเหมือนกับแม่พิมพ์



รูป 3 การกระจายอุณหภูมิของแม่พิมพ์เมื่อให้ความร้อนด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ที่ 15 เซนติเมตร



รูป 4 การกระจายของอุณหภูมิของถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์เท่ากับ 15 เซนติเมตร

จากการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของแม่พิมพ์ดังรูป 3 และการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางดังรูปที่ 4 เนื่องจากการอบแม่พิมพ์ได้รับความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนทั้งแบบรังสีอินฟราเรดและและการพาความร้อนจากลมร้อน โดยแม่พิมพ์เป็นวัตถุที่ทำมาจากเซรามิคและมีผิวเรียบเป็นมันวาว และแม่พิมพ์จะดูดซับความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนทั้งสองแหล่งทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งมือ แต่ที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส จะพบว่าบริเวณฝ่ามือจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น เช่นเดียวกับการวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน เนื่องจากการวัลคาไนซ์ถุงมือยางอุณหภูมิแต่ละจุดบนถุงมือยางแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่บริเวณฝ่ามือของแม่พิมพ์เป็นบริเวณที่มีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดโดยได้รับความร้อนจากแม่พิมพ์ที่เป็นแบบการนำความร้อนและเป็นบริเวณที่อยู่ตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรดและรับรังสีอินฟราเรดโดยตรง ทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าจุด ถุงมือยางมีการดูดซับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนทั้งสองแหล่ง หากเป็นการรับความร้อนจากอินฟราเรดอย่างเดียวจะส่งผลทำให้การวัลคาไนซ์ถุงมือยางมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอขณะทำการวัลคาไนซ์ พอใช้ลมร้อนร่วมจึงทำให้อุณหภูมิบริเวณฝ่ามือมีค่าใกล้เคียงกับจุดอื่นมากขึ้น

การกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางขณะวัลคาไนซ์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนได้ผลใกล้เคียงกับการกระจายอุณหภูมิรอบ ๆ แม่พิมพ์ถุงมือยาง คือที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับ

แม่พิมพ์ 15 เซนติเมตร มีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอกว่าที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรด 5 และ 10 เซนติเมตร

ดังนั้นในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยาง คือ ความร้อนที่ถุงมือยางได้รับจากฮีทเตอร์อินฟราเรด และจากลมร้อนโดยวัดจากอุณหภูมิของถุงมือยาง เมื่อให้ความร้อนในการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจาก 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ความสม่ำเสมอในการกระจายอุณหภูมิจะลดลงตามระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ ส่วนเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นั้นไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ

5.2 ลักษณะของถุงมือยางหลังการอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์กับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ โดยพิจารณาควบคู่กับลักษณะของถุงมือยางที่ได้จากการอบในหัวข้อ 5.1 พบว่าเพื่อป้องกันการไหม้ของถุงมือระหว่างการวัลคาไนซ์ยางควรวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส เพราะการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ถุงมือยางจะสุกจนไหม้และละลาย ไม่สามารถที่จะทำการวัลคาไนซ์ได้ ดังสรุปในตารางที่ 2

ลักษณะของถุงมือยางที่ได้จะเกิดการพองตัวขณะทำการวัลคาไนซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับถุงมือยางต่างกันออกไป แต่หลังอบวัลคาไนซ์แล้วถุงมือยางมีลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างกัน แต่หากปล่อยให้ถุงมือยางที่เริ่มมีการพองตัวยังคงให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ถุงมือยางเกิดการไหม้บริเวณที่พอง เนื่องจากได้รับความร้อนเป็นจำนวนมากจากการแผ่รังสีความร้อนของฮีทเตอร์อินฟราเรด

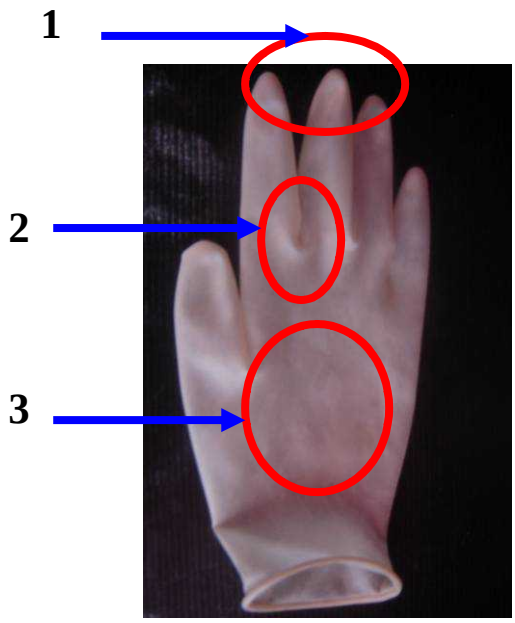
ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วคือ อุณหภูมิที่กำหนดบริเวณฝ่ามือถุงมือยางขณะทำการอบวัลคาไนซ์ ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณา อุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์เฉลี่ยที่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ สุกจนเกือบไหม้ และสุกจนไหม้ละลาย ตามปริมาณที่ได้รับความร้อนจากน้อยไปมาก เมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ ที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์น้อยที่สุด 5 เซนติเมตร ถุงมือยางที่ได้จะสุกจนไหม้ในทุกช่วงอุณหภูมิที่เวลา 10 นาที และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางคือ เมื่อใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นานจะทำให้ถุงมือยางสุกจนไหม้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางหลังจากทำการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

อุณหภูมิเฉลี่ยของถุงมือยาง (องศาเซลเซียส)	ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟรเรดกับแม่พิมพ์ (เซนติเมตร)	เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (นาที)	ลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางที่ได้จากการสังเกต
80	5	5	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		10	ถุงมือยางสุกจนบริเวณฝ่ามือเกือบไหม้ และบริเวณฝ่ามือมีสีเข้มกว่าบริเวณอื่น (ดังแสดงในภาพที่ 7)
		15	ถุงมือยางสุกจนบริเวณฝ่ามือเกือบไหม้ และบริเวณฝ่ามือมีสีเข้มกว่าบริเวณอื่น (ดังแสดงในภาพที่ 7)
	10	5	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		10	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		15	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
	15	5	ลักษณะของถุงมือยางบริเวณปลายมือยังไม่สุก (ดังแสดงในภาพที่ 6)
		10	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		15	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
100	5	5	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		10	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือแต่บริเวณฝ่ามือจะมีสีเข้มกว่าบริเวณอื่น(ดังแสดงในภาพที่ 7)
		15	ถุงมือยางสุกจนไหม้และบริเวณฝ่ามือสุกจนน้ำยางละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)

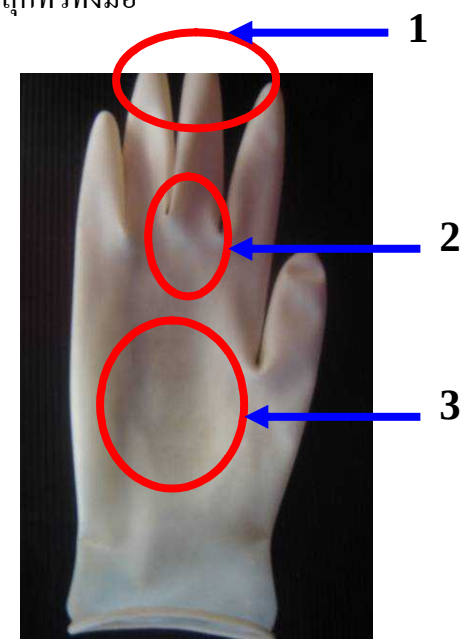
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางหลังจากทำการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน(ต่อ)

อุณหภูมิเฉลี่ยของถุงมือยาง (องศาเซลเซียส)	ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟรเรดกับแม่พิมพ์ (เซนติเมตร)	เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (นาที)	ลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางที่ได้จากการสังเกต
100	10	5	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		10	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		15	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ บริเวณฝ่ามือจะมีสีเข้มกว่าบริเวณอื่น (ดังแสดงในภาพที่ 7)
	15	5	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		10	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
		15	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ (ดังแสดงในภาพที่ 5)
120	10	5	ถุงมือยางสุกจนบริเวณฝ่ามือมีสีเข้มกว่าบริเวณอื่น(ดังแสดงในภาพที่ 7)
		10	ถุงมือยางสุกจนไหม้และละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)
		15	ถุงมือยางสุกจนไหม้และละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)
	15	5	ถุงมือยางสุกจนไหม้และละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)
		10	ถุงมือยางสุกจนไหม้และละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)
		15	ถุงมือยางสุกจนไหม้และละลายติดกับแม่พิมพ์ (ดังแสดงในภาพที่ 8)



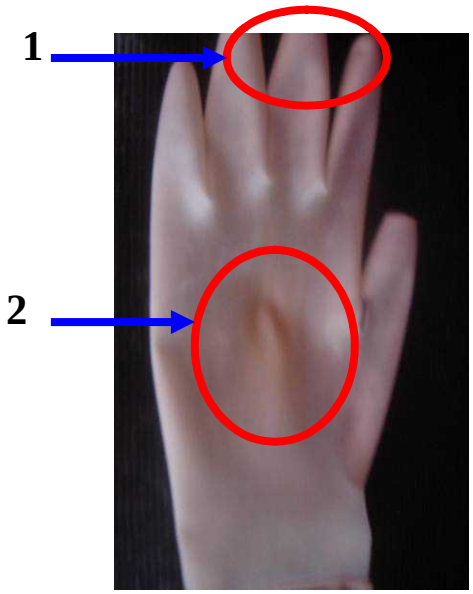
รูป 5. ลักษณะของถุงมือยางที่สุกทั่วทั้งมือ

จากรูป 5 ลักษณะของถุงมือยางที่สุกทั่วทั้งมือจะสังเกตได้จากบริเวณปลายนิ้วจุดที่ 1 จะมีลักษณะขาวใส รวมถึงบริเวณที่ 2 ง่ามนิ้วมือและบริเวณที่ 3 กลางฝ่ามือ โดยรวมแล้วทั้งมือจะมีลักษณะของสีที่สม่ำเสมอคือขาวใส จากการวิเคราะห์ผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ เนื่องจากระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์และอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือมีความเหมาะสม จึงทำให้ถุงมือสุกทั่วทั้งมือ



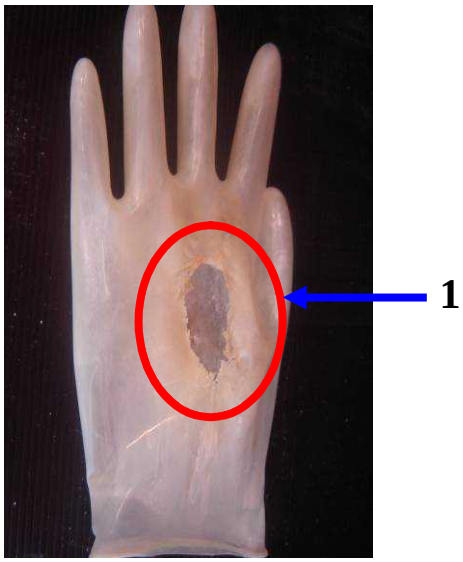
รูป 6. ลักษณะของถุงมือยางที่ไม่สุกเหมือนยังไม่ผ่านการอบวัลคาไนซ์

จากรูป 6 ลักษณะของถุงมือยางที่ไม่สุกเหมือนยังไม่ได้ผ่านอบการวัลคาไนซ์ สังเกตได้ว่า บริเวณที่ 1 ปลายนิ้วมือจะเป็นสีเหมือนน้ำยางคือมีสีขาวขุ่นและยังมีความชื้นอยู่ เมื่อสัมผัสจะรู้สึกว่าถุงมือมีความหนา บริเวณที่ 2 บริเวณง่ามนิ้วมีลักษณะเหมือนกับบริเวณที่ 1 ส่วนบริเวณที่ 3 กลางฝ่ามือเป็นบริเวณที่อยู่ตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรด จะสุกกว่าบริเวณอื่นเล็กน้อยแต่ผลที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จากการวิเคราะห์ผลที่ได้สามารถสรุปสาเหตุได้ คือ เนื่องจากระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์มีค่ามากและเวลาที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์น้อยเกินไป ทำให้ถุงมือยางไม่สุก



รูป 7. ลักษณะของถุงมือยางที่บริเวณปลายนิ้วยังไม่สุกแต่บริเวณฝ่ามือตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรดสุกจนเกือบไหม้

จากรูป 7 ลักษณะของถุงมือยางที่บริเวณปลายนิ้วยังไม่สุกแต่บริเวณฝ่ามือตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรดสุกจนเกือบไหม้ บริเวณที่ 1 ปลายนิ้วบริเวณนี้ได้รับความร้อนจากลมร้อนทำให้สุก ส่วนบริเวณที่ 2 กลางฝ่ามือ บริเวณนี้ได้รับความร้อนจากฮีทเตอร์อินฟราเรดโดยตรงทำให้สุกมากจนเกือบไหม้ โดยจะเริ่มมีสีน้ำตาลอ่อนเฉพาะบริเวณกลางฝ่ามือ จากการวิเคราะห์ผลสามารถสรุปสาเหตุได้คือ เนื่องจากฮีทเตอร์อินฟราเรดอยู่ใกล้กับแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์นานเกินไป ทำให้อุณหภูมิบริเวณฝ่ามือสูงเกินไปจนเกิดการไหม้



รูป 8. ลักษณะของถุงมือยางที่สุกจนไหม้

จากรูป 8 ลักษณะของถุงมือยางที่สุกจนไหม้ บริเวณที่ 1 กลางฝ่ามือไหม้จนละลายติดกับแม่พิมพ์ถุงมือยาง จากการวิเคราะห์ผลสามารถสรุปได้ดังนี้คือ เนื่องจากบริเวณฝ่ามือของถุงมือยางอยู่ตรงกับฮีทเตอร์อินฟราเรดโดยระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์อยู่ใกล้กันเกินกันมาก และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นาน ทำให้อุณหภูมิบริเวณฝ่ามือสูงจนเกิดการไหม้

ดังนั้นการวัลคาไนซ์ถุงมือยาง เพื่อให้ได้ลักษณะทางกายภาพที่ดี และสุกทั่วทั้งถุงมือยาง ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ส่วนระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างถุงมือยางกับฮีทเตอร์อินฟราเรดที่และเวลาในการวัลคาไนซ์สรุปได้ดังนี้

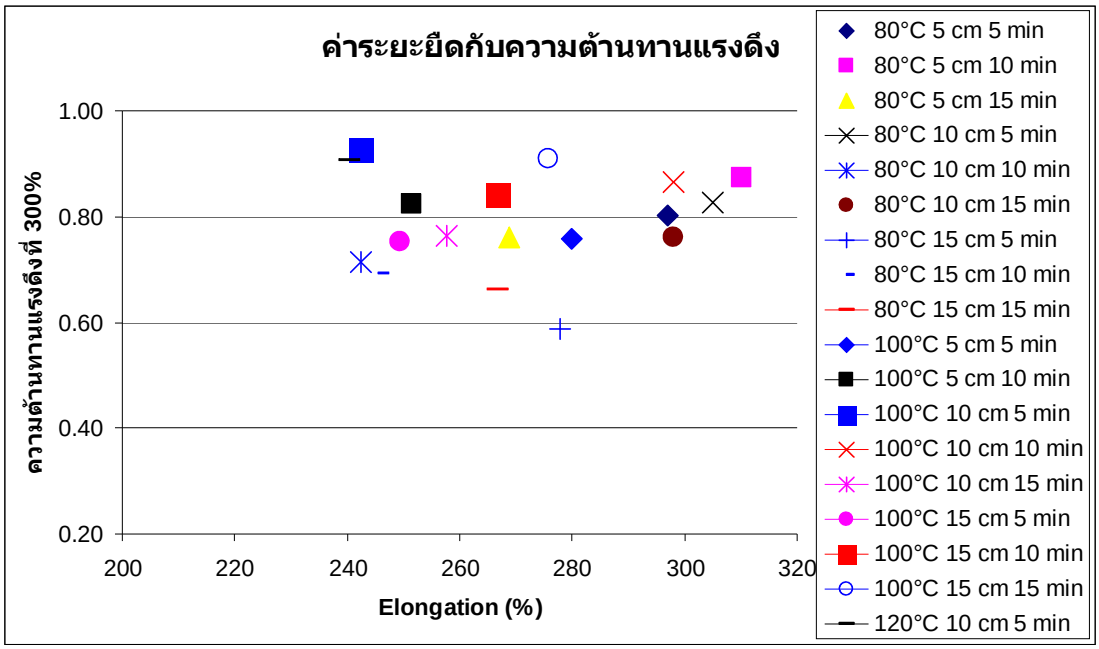
ระยะ 5 เซนติเมตร เวลาที่เหมาะสม 5 นาที ที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส

ระยะ 10 เซนติเมตร เวลาที่เหมาะสม 5, 10 และ 15 นาที ที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส

ระยะ 15 เซนติเมตร เวลาที่เหมาะสม 10 และ 15 นาที สำหรับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 5, 10 และ 15 นาที สำหรับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

5.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของยางหลังการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางไม่สามารถกำหนดได้ว่าถุงมือยางมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน ASTM D 412 หรือไม่ ดังนั้น จึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่อไปนี้คือ ความเค้นดึงที่ความยืดที่กำหนดเท่ากับ 300 เปอร์เซ็นต์ (Modulus) ความทนแรงดึง (Tensile Strength) ความยืด (Elongation) และ ความยืดขาดหรือความยืดสูงสุด (Elongation at Break)



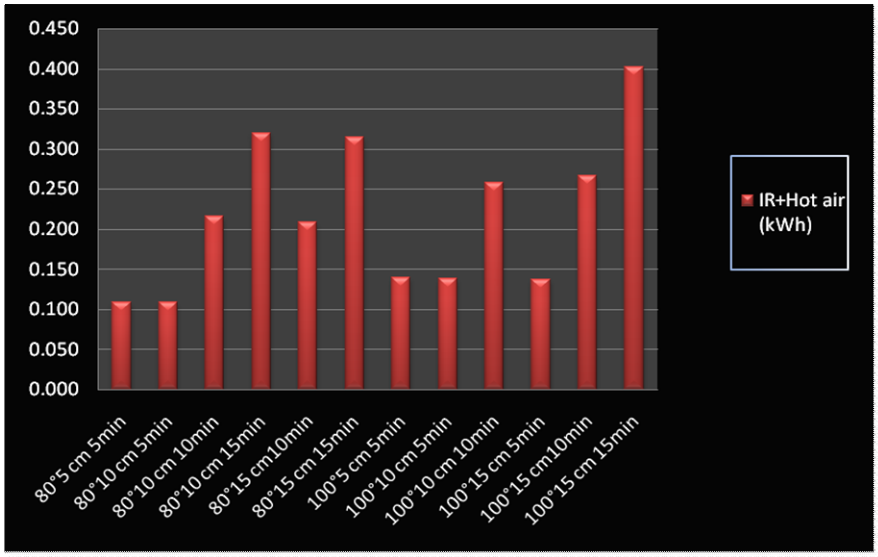
รูป 9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงที่ 300% กับ Elongation

จากรูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ 300 % อยู่ในช่วง 0.6–1 เมกกะพาสคาล และค่า % Elongation ที่ทุกช่วงการทดสอบได้ค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 240–320 % มีค่าไม่แตกต่างกันมากและได้ลักษณะของถุงมือยางอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และค่าความต้านทานต่อแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐานของถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว ASTM D412-97/ ISO 37-1994/ มอก. 1056-2540 ข้อ 6.3.1 ค่า % Elongation อยู่ในช่วงตรงตามมาตรฐานเท่ากับ 300–1000 %

5.4 การใช้พลังงานในการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ในการวัลคาไนซ์ยางใช้อุณหภูมิและเวลาต่างกัน พลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์แต่ละครั้งแตกต่างกันซึ่งเกิดจากระยะเวลาในการทดลอง ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ถุงมือยางกับหลอดอินฟรารเด อุณหภูมิและขนาดความหนาบางของถุงมือ ดังนั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงไม่เท่ากัน และการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองในตู้อบซึ่งอบถุงมือทีละ 1ข้าง แม่พิมพ์จะได้ถุงมือยางครั้งละ 1 ข้าง เนื่องจากต้องการหาสภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสม ช่วงเวลาที่เหมาะสมและศึกษาพลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์แต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 10 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยเก็บข้อมูลจากการอ่านหน่วยที่มิเตอร์ไฟฟ้า หน่วยปริมาณไฟฟ้าเป็น kWh จากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าและราคาค่าไฟขณะทำการวัลคาไนซ์ในตู้อบอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ฮีทเตอร์อินฟราเรดขนาด 2,000 วัตต์ กับ ฮีทเตอร์แบบครีบ 3,000 วัตต์ และโบลว์เวอร์ 110 วัตต์ ในชุดลมร้อนจะใช้พลังงานรวมประมาณ 3,110 วัตต์

ในส่วนการใช้ปริมาณไฟฟ้าของลมร้อนนั้น โบลว์เวอร์จะทำงานตลอดเวลา ทำให้มีการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา 110 วัตต์ ส่วนฮีทเตอร์แบบครีบที่ให้ความร้อนกับลมร้อนจะมีการทำงานเป็นช่วงเวลาเพื่อทำให้อุณหภูมิลมร้อนคงที่ตามที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ ส่วนการทำงานของฮีทเตอร์อินฟราเรดจะมีการทำงานเป็นช่วงเวลาเช่นกัน เพื่อทำให้อุณหภูมิบนถุงมือยางคงที่ตามค่าที่กำหนด



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

จากกราฟแสดงค่าพลังงานการอบวัลคาไนซ์ยางในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบพบว่า ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ถุงมือยางกับหลอดอินฟราเรด ระหว่าง 5-10 เซนติเมตร อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 80 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จะเป็นช่วงที่ประหยัดพลังงานที่สุด ส่วนที่ระยะ 5-15 เซนติเมตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 5 นาที จะเป็นช่วงที่ใช้พลังงานมากว่าที่ ที่ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเหมาะสมกับการใช้ที่ระยะ 15 เซนติเมตร

ดังนั้นผลการทดสอบการใช้พลังงานที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยางขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เป็นหลัก ส่วนระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ถุงมือยางจะมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ได้รับจึงทำให้คุณภาพของถุงมือยางมีความแตกต่างกันในช่วง 80 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะห่างไม่มีผลต่อคุณภาพของถุงมือยางและระยะห่างไม่สามารถทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้ทางด้านพลังงาน แต่จะช่วยเพิ่มปริมาณการอบได้มากขึ้น และจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตโดยรวมได้จากปริมาณที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นต่อครั้ง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด พบว่าช่วงที่ดีที่สุดในการทดลองคือ ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมคือ 10 และ 15 นาที เมื่อเทียบกับแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนพบว่าค่าพลังงานที่ใช้ไปน้อยกว่าแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนประมาณ 1-2 เท่า แต่ใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ยางจะมากกว่า

ส่วนการวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยลมร้อน สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ คือที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ใช้พลังงานเท่ากับ 0.884 kWh หากเปรียบเทียบกับแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่สภาวะเหมาะสมจะใช้พลังงานอยู่ในช่วง 0.1-0.2 kWh จะพบว่าแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจะใช้พลังงานน้อยกว่าแบบลมร้อน ประมาณร้อยละ 77-88 และใช้เวลาสั้นกว่าร้อยละ 66-83 ดังนั้นหากใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจะทำให้ประหยัดพลังงานกว่าแบบลมร้อนแต่จะใช้พลังงานมากกว่าการอบด้วยอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว แต่ประหยัดเวลามากกว่าร้อยละ 33-66

6.สรุปผล

1. ได้ปรับปรุงตู้อบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดให้ใช้ร่วมกับลมร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยมีขนาดเท่ากับเครื่องต้นแบบที่ประกอบจากเหล็กมีขนาดภายนอก 75 x 68 x 62 เซนติเมตร และได้เพิ่มประตูของตู้อบวัลคาไนซ์ที่เป็นกระจกหนา 6 มิลลิเมตร Blower–ขนาด 1/8 แรงม้า ความเร็วรอบ 2,850 รอบต่อนาที และฮีทเตอร์แบบครีบเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแก่ลมร้อน 1,500 วัตต์ 2 ตัวและต่อกันแบบขนาดอยู่ทางด้ายบนของตู้ ส่วนประกอบหลักทุกตัวเหมือนกับเครื่องต้นแบบคือ ฮีทเตอร์อินฟราเรดขนาด 1,000 วัตต์ 2 ตัวทางด้านซ้ายและด้านขวาของแม่พิมพ์

2. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ถุงมือยางขณะอบวัลคาไนซ์มีกระจายสม่ำเสมอมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 อุณหภูมิ ที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 5 และ 10 เซนติเมตร และ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่าง 5, 10 และ 15 เซนติเมตร

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิบนถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ให้กับถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ และระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ แต่เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นั้นไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิขณะทำการวัลคาไนซ์ แต่มีผลต่อความสุกและปริมาณการใช้พลังงาน

4. คุณสมบัติของถุงมือยางหลังการวัลคาไนซ์ได้ค่าความต้านทานแรงดึง 300% อยู่ในช่วงที่ 0.6–1 เมกกะพาสคาล และค่า %Elongation ที่ทุกช่วงการทดสอบได้ค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 240–320% และ ค่า % Elongation เป็นไปตามมาตรฐาน

5. การอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ หากเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่กับแบบอินฟราเรดจะใช้สูงกว่า 1-2 เท่า และเทียบกับแบบลมร้อน แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจะใช้พลังงานต่ำกว่าประมาณร้อยละ 77-88 และใช้เวลาสั้นกว่าร้อยละ 66-83

สรุปได้ว่าการวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนนั้น สภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดเท่ากับ 5 และ 10 เซนติเมตร และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ 5 นาที หากต้องการใช้ที่ระยะ 15 เซนติเมตร จะใช้ที่ อุณหภูมิ 100 องศา

เซลเซียส เวลา 5 นาที ซึ่งจะใช้พลังงานต่ำสุดเป็นอันดับรองลงจากที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่มีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอ มีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของถุงมือยางหลังการวัลคาไนซ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์สำหรับการทดสอบด้วยตู้อบวัลคาไนซ์

7. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

การนำผลการวิจัยไปใช้ในการประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมน้ำยางแบบธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่า เนื่องจากในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนนั้นใช้เวลาในการวัลคาไนซ์สั้น และทำให้อุณหภูมิของถุงมือยางกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งมือ แต่ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการวิจัยสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยได้ทดสอบแม่พิมพ์ทีละ 1 แม่พิมพ์ หากจะมีการนำช่วงอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์แบบอื่น ควรทดสอบทีละหลายแม่พิมพ์ในตู้อบ เพื่อพิจารณาในส่วนระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับจำนวนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอบ โดยการนำสภาวะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เพื่อการเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนนำไปใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ชาร์ลส์ กูดเยียร์. 2386. กรรมวิธีทำให้ยางคงรูป. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :http://www.mwit.ac.th/~sasinee/studentwork/work/104_mwit14/room6/rubber.pps.

โทมัส แฮนค็อก. 2363. วิธีการบดยาง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://www.mwit.ac.th/~sasinee/studentwork/work/104_mwit14/room6/rubber.pps.

ธนศิษฏ์ พิรดา เนตรงามและคีตกร กาญจนคีตะ. 2549. การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

บุญธรรม นิธิอุทัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง 2 .สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ อาซีซัน แกสมาน และวุฒิศักดิ์ ศิริทองถาวร. 2538. เทคโนโลยียาง: สมบัติและผลิตภัณฑ์. สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). กรุงเทพฯ.

รัฐพร บัวขม สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และสมเกียรติ ปรัชญาวรากร. 2548. การอบแห้งเมล็ดกาแฟสดโดยใช้ปั๊มความร้อนและลมร้อน. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6. 30-31 มีนาคม 2548. โรงแรมมิลาเคิลแกรนด์, กรุงเทพฯ.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล วิภา เศวตกนนิษฐ์ และอำพันทอง ทองคำ. 2529. การผลิตถุงมือยางเคลือบผ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://www.rubberthai.com/research/year/39/22.htm

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. 2548. เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก ธีระ คุณชล และเกรียงศักดิ์ อัปโมกข์. 2545. เครื่องอบเมล็ดและฝักพืชด้วยอินฟราเรด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :http://www.ismed.or.th/knownledge/showcontent.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2547. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ismed.or.th/knownledge/showcontent.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ฮีตเตอร์แบบครีบ. (ระบบออนไลน์).
แหล่งข้อมูล: http://www.ies-thailand.com/index.php?lay =show&ac =article&Id=367345

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และธนภัทร สุวรรณกูฏ. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับอินฟราเรด. *ว. วิศวกรรมสาร มข.* 34 (2): 189-201. (20 มีนาคม 2551)

Afzal, T.M., and T. Abe. 1998. Diffusion in potato during far infrared radiation drying. *Journal of Food Engineering* 37: 353-365.

Glouannec, P., Lecarppestier, D., and Noel, H. 2002. "Experimental survey on the combination of radiation infrared and microwave sources for the drying of porous material". *Applied Thermal Engineering.*22: 1689-1703

Hall, C. W. 1962. Theory of infrared drying. *Trans*. ASAE 5: 14-16.

Nowak, D. and P. P. Lewicki. 2004. Infrared drying of fresh apple slices. *J. of Food Eng. 71: 311-323.*

Umesh Hebbar, H. Vishwanathan, K. H. and Remesh, M. N., 2003. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. of Food Eng.* 65: 557-563.

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

ผลการกระจายอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ให้ความร้อนด้วยด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ตารางที่ ก.1 ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 5 เซนติเมตร

อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ให้ความร้อน (นาที)	ฝ่ามือขวา (°C)	ปลายนิ้วด้านขวา (°C)	ข้อมือด้านขวา (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
80	5	85	75	85	81.67
	10	86	78	87	83.67
	15	86	77	87	83.33
100	5	111	94	112	105.67
	10	110	95	112	105.67
	15	107	91	108	102.00
120	5	131	108	135	124.67
	10	130	107	132	123.00
	15	132	107	135	124.67

ตารางที่ ก.2 ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 10 เซนติเมตร

อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ให้ความร้อน (นาที)	ฝ่ามือขวา (°C)	ปลายนิ้วด้านขวา (°C)	ข้อมือด้านขวา (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
80	5	87	82	85	84.67
	10	85	81	84	83.33
	15	86	81	85	84.00
100	5	108	100	106	104.67
	10	110	103	107	106.67
	15	110	101	106	105.67
120	5	131	108	135	124.67
	10	125	118	130	124.33
	15	125	118	130	124.33

ตารางที่ ก.3 ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 15 เซนติเมตร

อุณหภูมิ ($°C$)	เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (นาที)	ฝ่ามือขวา ($°C$)	ปลายนิ้วด้านขวา ($°C$)	ข้อมือด้านขวา ($°C$)	อุณหภูมิเฉลี่ย ($°C$)
80	5	85	83	82	83.33
	10	83	83	83	83.00
	15	85	83	82	83.33
100	5	103	99	101	101.00
	10	107	104	103	104.67
	15	105	100	101	102.00
120	5	128	128	121	125.67
	10	128	128	121	125.67
	15	127	127	120	124.67

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของฮีทเตอร์อินฟราเรดและลมร้อน

อุณหภูมิเฉลี่ย ($°C$)	ระยะห่าง(ซม)	เวลา(นาที)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า
80	5	5	0.11
	10	5	0.11
	10	10	0.22
	10	15	0.32
	15	10	0.22
	15	15	0.32
100	5	5	0.14
	10	5	0.14
	10	10	0.26
	15	5	0.14
	15	10	0.26
	15	15	0.41

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

	ฝ่ามือซ้าย			ฝ่ามือขวา			ปลายนิ้วด้านขวา			ปลายนิ้วด้านซ้าย			สันมือด้านใน			สันมือด้านนอก			ข้อมือด้านนอก		
	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม	5 ซม	10 ซม	15 ซม
80°C เวลา 5 นาที	80	81	82	91	83	82	87	82	80	81	80	82	92	87	84	78	79	81	82	80	84
80°C เวลา 10 นาที	81	79	80	93	81	84	86	77	80	72	76	79	91	83	86	81	75	81	88	78	83
80°C เวลา 15 นาที	81	81	80	85	84	83	79	81	81	79	80	82	90	89	81	83	78	81	84	82	81
100°C เวลา 5 นาที	103	99	98	103	108	104	98	99	98	105	98	98	95	114	100	97	92	94	106	98	97
100°C เวลา 10นาที	102	103	98	104	112	104	99	102	99	95	101	101	102	113	100	99	93	95	114	100	100
100°C เวลา 15 นาที	105	100	102	106	108	108	100	99	102	102	90	96	101	116	101	100	94	96	110	105	99
120°C เวลา 5 นาที	122	123	120	128	128	130	117	121	122	110	107	120	128	143	121	115	117	115	107	128	121
120°C เวลา 10 นาที	123	121	119	125	135	134	120	117	115	118	105	116	122	151	132	117	113	112	116	130	122
120°C เวลา 15นาที	125	121	118	124	133	127	123	125	119	115	105	115	126	148	118	115	119	110	120	130	119

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบสมบัติของถุงมือยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

	Modulus 300%				Elongation			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
80°C 5 cm 5 min	0.81	0.80	0.80	0.80	293.94	309.09	287.88	296.97
80°C 5 cm 10 min	0.89	0.87	0.86	0.87	309.09	321.21	300.00	310.10
80°C 5 cm 15 min	0.76	0.76	0.76	0.76	269.70	260.61	275.76	268.69
80°C 10 cm 5 min	0.84	0.83	0.81	0.83	293.94	321.21	300.00	305.05
80°C 10 cm 10 min	0.71	0.72	0.71	0.71	257.58	233.33	236.36	242.42
80°C 10 cm 15 min	0.76	0.76	0.76	0.76	293.94	315.15	284.85	297.98
80°C 15 cm 5 min	0.58	0.60	0.59	0.59	275.76	293.94	263.64	277.78
80°C 15 cm 10 min	0.70	0.68	0.69	0.69	233.33	257.58	245.45	245.45
80°C 15 cm 15 min	0.68	0.66	0.65	0.66	272.73	263.64	263.64	266.67
100°C 5 cm 5 min	0.75	0.77	0.76	0.76	284.85	272.73	281.82	279.80
100°C 5 cm 10 min	0.84	0.83	0.80	0.82	257.58	248.48	248.48	251.51
100°C 10 cm 5 min	0.92	0.94	0.92	0.93	233.33	248.48	245.45	242.42
100°C 10 cm 10 min	0.86	0.86	0.88	0.87	293.94	309.09	290.91	297.98
100°C 10 cm 15 min	0.79	0.76	0.74	0.76	257.58	263.64	251.52	257.58
100°C 15 cm 5 min	0.76	0.74	0.76	0.75	242.42	257.58	248.48	249.49
100°C 15 cm 10 min	0.82	0.84	0.86	0.84	263.64	275.76	260.61	266.67
100°C 15 cm 15 min	0.91	0.94	0.88	0.91	275.76	257.58	293.94	275.76
120°C 10 cm 5 min	0.90	0.92	0.90	0.91	233.33	251.52	236.36	240.40