



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเปรียบเทียบการอบถุงมือยางด้วยอินฟราเรดแบบไฟฟ้าและแบบแก๊ส

The Study of Comparison Between Heating The Rubber Glove

with Electricity Infrared and Gas Infrared

โดยชนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวยและคณะ

ตุลาคม 2553

สัญญาเลขที่ RDG5150042

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเปรียบเทียบการอบถุงมือยางด้วยอินฟราเรดแบบไฟฟ้าและแบบแก๊ส

The Study of Comparison Between Heating The Rubber Glove

with Electricity Infrared and Gas Infrared

คณะผู้วิจัย

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นักศึกษาช่วยทำวิจัย

นางสาวจรรยา ขาลพรหม

นางสาวศศิธร ใจยาบุตร

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การศึกษาเปรียบเทียบการอบถุงมือยางและฟองน้ำด้วยอินฟราเรดแบบไฟฟ้าและแบบแก๊ส

The Study of Comparison Between Heating The Rubber Glove and Foam Rubber with Electricity Infrared and Gas Infrared

ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ชนศิษฐ์ 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 นางสาวจรรยา ขาลพรหม

นางสาวศศิธร ใจยาบุตร

ระยะเวลาดำเนินการ 27 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 15 ตุลาคม 2553

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การอบวัลคาไนซ์ยางด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบไฟฟ้าใช้เวลาสั้นกว่าการอบด้วยลมร้อน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า แต่ในอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางพารามักจะใช้แก๊สในการให้ความร้อน อีกทั้งจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาก็จะมีการให้ความร้อนโดยใช้แก๊ส เนื่องจากแก๊สให้ความร้อนได้สูงกว่าไฟฟ้าและประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาแก๊สแบบอินฟราเรดจะให้ความร้อนได้สูงกว่าและประหยัดแก๊สกว่าเตาแก๊สแบบทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือนและแบบที่ใช้ในโรงงานถุงมือยาง จึงมีแนวคิดที่จะนำฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบใช้แก๊สมาอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางและเทียบกับงานที่ผ่านมาที่ใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้า เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบวัลคาไนซ์ที่มีประสิทธิภาพและเพื่อช่วยประหยัดพลังงานซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตถุงมือยางได้อีกทางหนึ่ง เพื่อให้เป็นทางเลือกสำหรับชุมชนที่ต้องการใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊สในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาและปรับปรุง ตู้อบวัลคาไนซ์แบบ ไฟฟ้าให้สามารถใช้ร่วมกับแบบ แก๊สได้ และหาสถานะที่เหมาะสมในการอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างอินฟราเรดแบบไฟฟ้ากับแบบ แก๊ส ในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในระดับชุมชน และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านการใช้พลังงาน

ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงตู้อบวัลคาไนซ์ยาง ที่ใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน ให้สามารถใช้อินฟราเรดแบบแก๊สได้เพื่อใช้กับการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง โดยศึกษาตัวแปร เช่น เวลาในการวัลคาไนซ์ อุณหภูมิในตู้อบ และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับ แม่พิมพ์ถุงมือยาง เพื่อให้ขณะอบวัลคาไนซ์มี อุณหภูมิ กระจายสม่ำเสมอมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้อินฟราเรด แก๊ส ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ 10 และ 15 เซนติเมตร และ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ถุงมือยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ดังกล่าวข้างต้นและมีสมบัติทางกายภาพดี คือเกิดการวัลคาไนซ์สมบูรณ์ ถุงมือสุก ไม่ขาด ไม่ไหม้ เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ในด้านความแข็งแรงได้แก่ ความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของถุงมือแพทย์ที่ใช้ครั้ง พบว่าคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในกระบวนการวัลคาไนซ์ยาง การใช้อุณหภูมิ เวลาและระยะทางต่างกัน มีผลต่อปริมาณการใช้แก๊ส และต้นทุนทางด้านพลังงาน หากเปรียบเทียบ โดยใช้เวลาเท่ากันเพื่อวัลคาไนซ์ถุงมือยาง อินฟราเรดแบบแก๊สจะให้พลังงานสูงกว่าแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน ส่วนต้นทุนด้านพลังงานหากใช้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การใช้แก๊สจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้ไฟฟ้า ประมาณ 39% เนื่องจากราคา ต่อหน่วยพลังงาน แก๊สต่ำกว่าไฟฟ้า โดยที่แก๊สใช้พลังงานมากกว่าไฟฟ้า 34%

สรุปผลการวิจัย

การวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรด แบบแก๊สมี อุณหภูมิเวลาและระยะ ระหว่างแม่พิมพ์กับฮีตเตอร์อินฟราเรด ที่เหมาะสม นั้น มีหลายสถานะด้วยกันหากพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางวัสดุที่เป็นไปตามมาตรฐานของถุงมือยาง หากพิจารณาในด้านการใช้พลังงานนั้น จะพบว่า การใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะใกล้ที่สุด โดยใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที จะทำให้ใช้พลังงานต่ำสุด ซึ่งต่างจากการใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับ ลมร้อน ที่เพิ่มระยะขึ้นจะต้องใช้เวลามากขึ้น นอกจากปริมาณพลังงานแล้วอีกปัจจัยหนึ่งก็คือค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางด้านพลังงานที่ต้องจ่าย การใช้แก๊สจะมีต้นทุนที่ถูกกว่าการใช้พลังงาน เมื่อใช้พลังงานเท่ากัน สำหรับการศึกษาครั้งนี้การใช้แก๊สจะมีต้นทุนถูกกว่าการใช้ไฟฟ้าประมาณ 39% สำหรับการใช้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

การนำผลการวิจัยไปใช้เพื่อผลิตถุงมือยางในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่าในด้านการลงทุน และค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายจาก ค่าพลังงาน เนื่องจากในการวัดค่าในช่องมือยางแบบอินฟราเรด แบบแก๊ส และอินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนนั้นใช้เวลาในการวัดค่าในช่องนี้ กว่าที่ใช้ลมร้อนที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตถุงมือ แต่ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการวิจัยสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยได้ทดสอบแม่พิมพ์ที่ละ 1 แม่พิมพ์ หากจะมีการนำช่วงอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัด ค่าในช่องที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ ควรทดสอบครั้งละหลายแม่พิมพ์ในคูบ เพื่อพิจารณาในส่วนระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับจำนวนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอบ โดยการนำสถานะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนนำไปใช้ต่อไป

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้น ซึ่งสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ต่อยอดวิชาการและเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับการกระจายความร้อนจากการแผ่รังสีร่วมกับการพาความร้อน ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในเชิงอุตสาหกรรมและน่าจะจดสิทธิบัตรได้อีกด้วย

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำอินฟราเรดแบบแก๊ส มาใช้แทนอินฟราเรดแบบไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับลมร้อน ที่เป็นแหล่งให้ความร้อนในเตาอบวัดคาไนซ์ถุงมือยาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการอบวัดคาไนซ์ยางด้วยรังสีอินฟราเรดแบบแก๊ส จากการทดสอบพบว่า การอบวัดคาไนซ์ถุงมือยางแบบนี้ใช้เวลาเพียง 5 นาที ซึ่งไม่แตกต่างกับการใช้ การใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน สภาวะที่เหมาะสมคือการศึกษาครั้งนี้คือที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ถุงมือยาง 10 และ 15 เซนติเมตร และที่ 100 องศาเซลเซียส ระยะ 15 เซนติเมตร ถุงมือยางที่ได้จากการอบวัดคาไนซ์ด้วยแก๊สมีคุณสมบัติไปตามมาตรฐาน โดยมีเปอร์เซ็นต์ Elongation at break อยู่ในช่วง 300 ถึง 1,000 % ข้อดีของการใช้อินฟราเรดแบบแก๊สเมื่อเทียบกับการใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับลมร้อนคือแก๊สจะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าไฟฟ้าประมาณ 39% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากราคาต่อหน่วยพลังงานของแก๊สต่ำกว่าไฟฟ้า โดยที่แก๊สใช้พลังงานมากกว่าการใช้ไฟฟ้าถึง 34%

ABSTRACT

In this research, a couple of gas infrared heaters have been used instead of electrical infrared heaters and hot air as a set of heat source in a glove rubber vulcanization oven. The main purpose of this work is to find the appropriate conditions for vulcanization of glove rubbers with gas infrared heaters. From the experimental results, the vulcanization processes of glove rubber from the modified oven take approximately 5 min, which is not significantly different from the last model. Moreover, the suitable conditions are 80 °C (the oven temperature) with 10 and 15 cm long between heaters and a glove mold and also 100 °C with 15 cm. Interestingly, it can be achieved that gloves from this novel process are in standard which have percentage of elongation break from 300 to 1000. With the advantage of using the gas-infrared heaters over using electrical infrared heaters and hot air, when operating at 80 °C, the gas infrared cost is around 39% lower than electrical infrared because gas price per unit is lower than electrical price. While energy consumption of gas is higher than electrical around 34%.

เนื้อหา

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การอบวัลคาไนซ์ด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบไฟฟ้าใช้เวลาสั้นกว่าการอบด้วยลมร้อน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า แต่ในอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางพารามักจะใช้แก๊สในการให้ความร้อน อีกทั้งจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาก็จะมีการให้ความร้อนโดยใช้แก๊ส เนื่องจากแก๊สให้ความร้อนได้สูงกว่าไฟฟ้าและมีต้นทุนต่อความร้อนต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาแก๊สแบบอินฟราเรดจะให้ความร้อนได้สูงกว่าและประหยัดแก๊สกว่าเตาแก๊สแบบทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือน และแบบที่ใช้ในโรงงานถุงมือยาง จึงมีแนวคิดที่จะ นำฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบใช้แก๊ส มาอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางและเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้า เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบวัลคาไนซ์ที่มีประสิทธิภาพและเพื่อช่วยประหยัดพลังงานซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตถุงมือยางได้อีกทางหนึ่ง เพื่อให้เป็นทางเลือกสำหรับชุมชนที่ต้องการใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊สในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาและปรับปรุง คู่มือวัลคาไนซ์แบบ ไฟฟ้าให้สามารถใช้ร่วมกับแบบ แก๊สได้ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างอินฟราเรดแบบไฟฟ้ากับแบบแก๊ส ในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในระดับชุมชน และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านการใช้พลังงาน

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำยางที่เป็นของเหลวให้อยู่ในสภาพคงรูปทรงได้ในลักษณะยืดหยุ่น โดยการใช้สารวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติได้แก่ จุกหัวนมยาง ยางยานพาหนะ ยางสายพานลำเลียง ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย รองเท้า มีตัวแปรที่สำคัญในการวัลคาไนซ์ คือสารเคมีและอุณหภูมิที่ใช้การวัลคาไนซ์ สารเคมีที่มักนิยมใช้คือกำมะถัน ส่วนอุณหภูมิหรือความร้อนที่ให้มีหลายวิธี การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้ ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ไหม้ได้

อุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์

การวัลคาไนซ์แบบ Cold cure	ใช้อุณหภูมิห้อง (20-40 องศาเซลเซียส)
การวัลคาไนซ์แบบเตาอบไอน้ำ	ใช้อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส
การวัลคาไนซ์แบบอากาศร้อน	ใช้อุณหภูมิ 70-140 องศาเซลเซียส
การวัลคาไนซ์แบบเกลือเหลว	ใช้อุณหภูมิ 180-240 องศาเซลเซียส
การวัลคาไนซ์แบบไมโครเวฟ	ใช้อุณหภูมิ 180-240 องศาเซลเซียส
การวัลคาไนซ์แบบอัดเบ้า	ใช้อุณหภูมิ 100-170 องศาเซลเซียส
การวัลคาไนซ์แบบฉีดยางเข้าเบ้า	ใช้อุณหภูมิ 170-240 องศาเซลเซียส

การวัลคาไนซ์ยังสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่นิยมใช้ได้แก่

ก. การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน (Hot Air Curing)

การวัลคาไนซ์ในอากาศร้อนมักมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้า ทำให้ระยะเวลาพักตัวก่อนการวัลคาไนซ์นานอาจทำให้ยางห้อยย้อยและเสียรูปได้ การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนมี 2 ลักษณะ คือ ชนิดที่ไม่มี ความดัน (ความดันเท่ากับบรรยากาศ) และชนิดที่มีความดัน โดยกรณีที่ไม่มีความดันจะ ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีผิวบาง เช่น ผลิตภัณฑ์ที่จะไม่ให้เกิดรูพรุน และผลิตภัณฑ์จากการจุ่มน้ำยาง ได้แก่ ถุงมือ ลูกโป่ง และถุงยางอนามัย เป็นต้น ซึ่งผิวของผลิตภัณฑ์จะเรียบเป็นมัน ส่วนกรณีที่มีความดันมักใช้กับ ผลิตภัณฑ์ที่หนาซึ่งจะต้องมีความดันเกิน 20 psi ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รองเท้าผ้าใบ และรองเท้าบูต เป็นต้น แต่การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนมีข้อเสีย คือ วัลคาไนซ์ช้า และผิวผลิตภัณฑ์อาจเหนียว อีกทั้งอากาศควร จะต้องมีการหมุนวนภายในเตา เพื่อเพิ่มอัตราการ ถ่ายเทความร้อน

ข. การวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

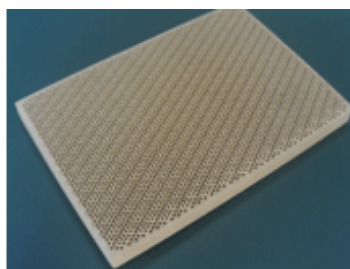
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่มากมายในชีวิตประจำวันโดยที่เรามองไม่เห็น เราเรียกคลื่นระดับต่าง ๆ ว่า สเปกตรัม (Spectrum) และแยกออกตามความถี่ของคลื่น โดยคลื่นที่ช่วงความถี่กว้างจะส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า แต่มีแรงน้อย อำนาจทะลุทะลวงต่ำ ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการอบ วัลคาไนซ์มากขึ้น เนื่องจากใช้คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นตัวรับความร้อน กลไกในการส่งผ่านความร้อน จึงมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเวลาและพลังงานได้ดี เนื่องจากให้ความร้อนถึงเนื้อในได้ ช่วงความถี่ที่นิยมนำมาใช้ในการอบแห้งคือ รังสี อินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ

รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่อยู่ถัดไปจากแสงสีแดงและมีพลังงานความร้อนอยู่มาก โดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.75 ถึง 1000 ไมครอน ซึ่งยาวกว่าแสงที่ตาคนเราเห็นได้แต่สั้นกว่าไมโครเวฟ มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและมีการสะท้อนเหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้ความร้อนโดยตรงแก่วัตถุ (Radiation) โดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง เมื่อแบ่งช่วงตามเครื่องวัดอย่างกว้าง ๆ จะแบ่งเป็นอินฟราเรดช่วงใกล้ (Near infrared) มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 ถึง 4 ไมครอน และอินฟราเรดช่วงไกล (Far infrared) มีความยาวคลื่นระหว่าง 4 ถึง 40 ไมครอน การเลือกใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรด จะใช้ช่วงใกล้หรือไกล ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานเป็นหลัก

3.2 ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊ส

ฮีตเตอร์อินฟราเรดมี 2 แบบ คือเป็นอินฟราเรดไฟฟ้า และอินฟราเรดแก๊ส ถ้าเป็นแบบไฟฟ้านั้นจะเป็นการให้ความร้อนโดยการกำเนิดรังสีช่วง 3-10 ไมโครเมตร และไม่มีเปลวไฟ มีขนาดเล็กประหยัดเนื้อที่ ส่วนอีกแบบหนึ่งคืออินฟราเรดชนิดแก๊ส ดังรูป 1 อินฟราเรดแบบแก๊สนั้นจะช่วยประหยัดแก๊สลงไปถึง 40 % หากเทียบกับหัวแก๊สแบบทั่วไป ดังนั้นจะให้ความร้อนน้อยกว่า เนื่องจากอินฟราเรดจะมีรังสีทำให้ที่ให้แก๊สซึมผ่าน ดังรูป 2 โดยที่แก๊สที่ไหลมาตามท่อจะถูกกักเก็บในหัวเตาก่อนแล้วแก๊สค่อยๆ ซึมออกมาตามรูพรุนที่มีอยู่มากมายบนรังสีและด้วยลักษณะการซึมแก๊ส และอินฟราเรดแก๊สนั้นจะให้ความร้อนที่คงที่ สม่ำเสมอ เพราะตัว อินฟราเรดแบบแก๊สนั้นจะมีแผ่นเซรามิกอยู่ด้านหน้าดังรูป 2 ทำให้ได้ความร้อนที่คงที่ตลอดเวลา ฮีตเตอร์แบบอินฟราเรดแบบแก๊สสามารถเลือกใช้แก๊ส ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) หรือแก๊สธรรมชาติ (NGV) ก็ได้ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)



รูป 2 แผ่นรังสีฮีตเตอร์อินฟราเรด

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนศิษฐ์และคณะ(2549) ได้ศึกษาการอบวัลคาไนซ์ถุงมืออย่างด้วยฮีเตอร์แบบอินฟราเรดพบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนในการอบวัลคาไนซ์ถุงมืออย่างที่เหมาะสมเป็น 80 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ ส่วน ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับผิวหน้าแบบพิมพ์ควรมีระยะ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ถุงมืออย่างมีอุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอเกือบทั่วทั้งแบบพิมพ์

ธนศิษฐ์และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาการ อบวัลคาไนซ์ถุงมืออย่างด้วยฮีเตอร์ อินฟราเรดแบบ ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ระยะห่าง 5, 10 และ 15 เซนติเมตร โดยใช้เวลาเพียง 5 นาที พบว่าอุณหภูมิจะกระจายสม่ำเสมอที่ระยะห่างน้อยกว่าการใช้ฮีเตอร์อินฟราเรดเพียงอย่างเดียว ทำให้สามารถวางแม่พิมพ์ได้ถี่ ฮีเตอร์ทำให้เพิ่มพื้นที่การอบใน ตู้อบเพิ่มขึ้นและใช้เวลาสั้นกว่า เนื่องจากเมื่อวางไว้ได้ใกล้กว่าก็จะรับความร้อนได้ดีกว่าทำให้ใช้เวลา สั้นกว่า และเมื่อเทียบกับแบบลมร้อนที่ในอุตสาหกรรมการผลิตถุงมืออย่างใช้กันจะใช้ ไฟฟ้าปริมาณต่ำ กว่าร้อยละ 77-88 และใช้เวลาสั้นกว่าร้อยละ 66-83

ศิริโรตม์ และคณะ (2545) ได้ออกแบบเครื่องอบเมล็ดและผักด้วยคลื่นอินฟราเรด โดย เครื่องอบสามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 199 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ตั้งมีความเที่ยงตรงจึงสามารถหา ระยะเวลาที่แน่นอนในการลดความชื้นของผัก ถั่ว ลักษณะเด่นของเครื่องอบนี้คือการนำเอา ฮีเตอร์ แบบอินฟราเรดมาใช้แทนฮีเตอร์แบบวงผึ้ง พบว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการแผ่ความร้อนได้ดีกว่า ความร้อนที่ได้นั้นเป็นความร้อนชนิดเดียวกับแสงแดดจึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน เครื่องอบมีความปลอดภัยมากกว่าการอบด้วยไมโครเวฟและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ เครื่องอบดังกล่าวสามารถนำมาอบผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ได้ เช่น พืชจำพวกสมุนไพรที่มีราคา แพงและหายาก และสามารถนำไปใช้ในห้องวิทยาศาสตร์หรือห้องทดลองตามโรงเรียนต่าง ๆ

Umesh และคณะ (2004) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับพืชผัก โดยระบบถูกออกแบบให้ทำงานด้วยการอบแห้งด้วยอินฟราเรดช่วงกลาง การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จากการศึกษาการอบแห้งแครอทและมันฝรั่งแบบ อินฟราเรดที่อุณหภูมิเครื่องอบ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิร้อน 40 องศาเซลเซียส พบว่าช่วยลดเวลาการอบแห้งได้ร้อยละ 48 และสามารถประหยัดพลังงานได้ ร้อยละ 63 เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนได้ผลที่ดีกว่า แบบอินฟราเรดอย่างเดียว ประสิทธิภาพของเครื่องอบสำหรับแครอทและมันฝรั่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 38

อำไพศักดิ์ และธนภัทร (2550) ศึกษาผลของการอบแห้งและความเปลี่ยนแปลงพลังงานของการ อบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ อบแห้ง ความเร็วลม และกำลังงานที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรด โดยระยะห่างระหว่างแท่งอินฟราเรดกับ

ผลิตภัณฑ์และขนาดของผลิตภัณฑ์คงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้ง คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูงและมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้พบว่า การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนกับรังสีอินฟราเรด ควรใช้ความเร็วลมอย่างน้อย 0.3 เมตรต่อวินาที เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

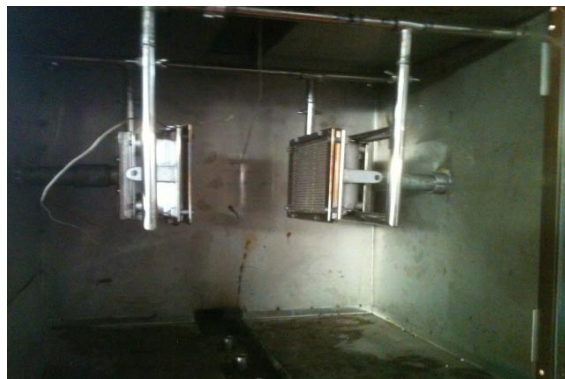
Hall (1962) ได้สรุปทฤษฎีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดว่าสามารถอบแห้งได้รวดเร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและเหมาะกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นบาง โดยการดูดซับพลังงานจะเกิดขึ้นในช่วงคลื่นเฉพาะ เกิดการดูดซับบนผิวและนำความร้อนสู่ภายในตัวอย่าง การดูดซับความร้อนในการอบแห้งมีปัจจัยสำคัญคือ ความยาวคลื่น ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด คุณสมบัติของผิวหนัง ความชื้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ รังสีอินฟราเรด จากแก๊สมีความยาวคลื่นประมาณ 3-5 ไมครอน ยาวกว่ารังสีอินฟราเรดจากหลอด ไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นช่วง 1-1.25 ไมครอน การดูดซับพลังงานลดลงเมื่อความชื้นมีค่าลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

4. วิธีการ

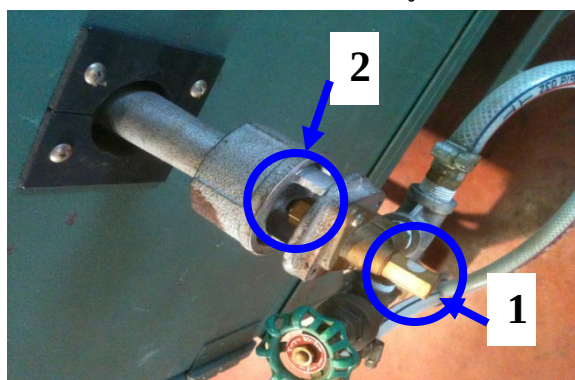
4.1 การปรับปรุงตู้อบวัดคาโนซัง

ได้ปรับปรุงตู้อบอินฟราเรดแบบไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับลมร้อนให้ใช้อินฟราเรดแบบแก๊สร่วมกับลมร้อน โดยได้ทำการปรับปรุงตู้อบเพื่อให้ ติดตั้งชุดแก๊สอินฟราเรด โดยมีฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊สที่สามารถให้ความร้อน 2,700 kcal/hr หรือ 3 kW และขนาด 15 x 20 ซม. จำนวน 2 หัว ดังรูป 3 โดยหัวแก๊สอินฟราเรดจะติดตั้งมา พร้อมกับวาล์วควบคุมปริมาณแก๊ส (1) ห้องผสมอากาศกับแก๊ส และหัวฉีดแก๊ส (2) ดังรูป 4.ก โดยติดตั้งชุดแก๊สอินฟราเรดที่ด้านข้างทั้งสองด้านของเตาอบ และยังได้ทำการติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิเพื่อควบคุมการไหลของแก๊สเพิ่มเติม ชุดควบคุมปริมาณการไหลแก๊สแบ่งออกเป็นสองชุดคือชุดเดินเบาและชุดเร่ง ดังรูป 4.ข ชุดเดินเบาจะทำหน้าที่จ่ายแก๊สเพื่อ ทำให้อุณหภูมิคงที่ โดยใช้วาล์วควบคุม (3) สามารถปรับได้ตามต้องการ ส่วนชุดเร่ง จะควบคุมด้วยโซลินอยด์วาล์ว (4) ที่ถูกควบคุมจากอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ จะทำหน้าที่จ่ายแก๊สเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้ อุณหภูมิเพิ่มได้เร็วขึ้นในกรณีที่อุณหภูมิลดลงและใช้ในช่วงเริ่มอบให้อุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งไว้ ได้เร็วขึ้น แก๊สจากถังแก๊สจะไหลเข้าโรตาริเตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สเป็นอันดับแรก (5) หลังจากนั้นจะแยกไปสองทางไปยังทางเดินเบา (3) และโซลินอยด์วาล์ว (4) แก๊สที่จะจ่ายไปยังหัวแก๊สอินฟราเรดจะถูกฉีดผ่านหัวฉีด (2) เพื่อผสมกับอากาศก่อนเข้าไปยังหัวเผาอินฟราเรดดังรูป 3 โดยที่หัวฉีดจะมีวาล์วควบคุมก่อนเข้าหัวฉีดอีกตัวหนึ่ง (1) ตู้อบที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ใช้อินฟราเรดแบบแก๊ส เปรียบเทียบกับตู้อบเดิมที่ใช้อิน

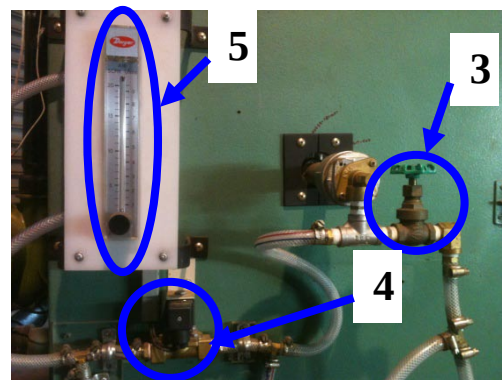
ฟาราดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน แสดงดัง รูป 5 ที่เป็นรูปภายนอกตู้อบ ส่วนรูป 6 เป็นรูปภายในตู้อบ โดยที่ภายนอกตู้มีการย้ายตู้ควบคุมเพื่อให้สะดวกกับการติดตั้งชุดควบคุมการไหลของแก๊สและผนังด้านข้างจะถูกเจาะเพื่อให้ไต่ท่อแก๊สเข้าไปในตู้ทั้งสองด้าน รูป 7.1 และ 7.2 แสดงไดอะแกรมของตู้อบ



รูป 3 อิทธิพลของฟาราดแบบแก๊ส



ก. วาล์วควบคุมปริมาณแก๊ส ห้องผสมอากาศกับแก๊สและหัวฉีดแก๊ส



ข. วาล์วควบคุมอัตราการไหลของแก๊สและโซลินอยด์วาล์วควบคุมการเร่งแก๊ส

รูป 4 ชุดควบคุมการไหลของแก๊ส



เดิม



ที่ปรับปรุง

รูป 5 เปรียบเทียบตู้อบด้านนอก

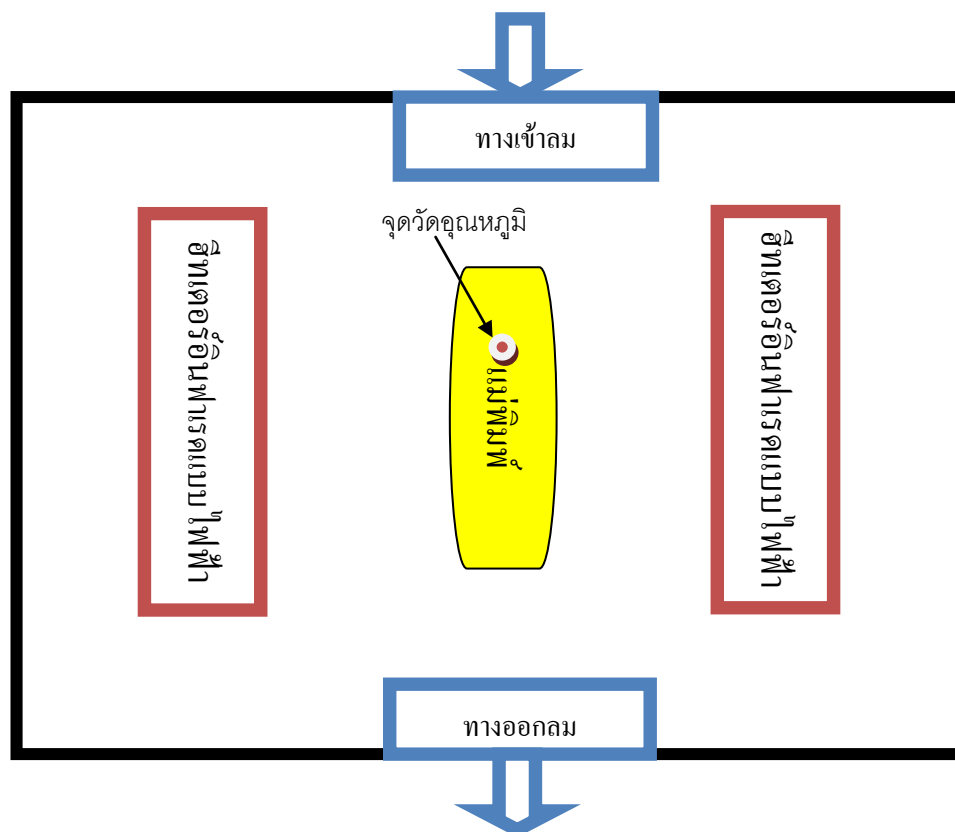


เดิม

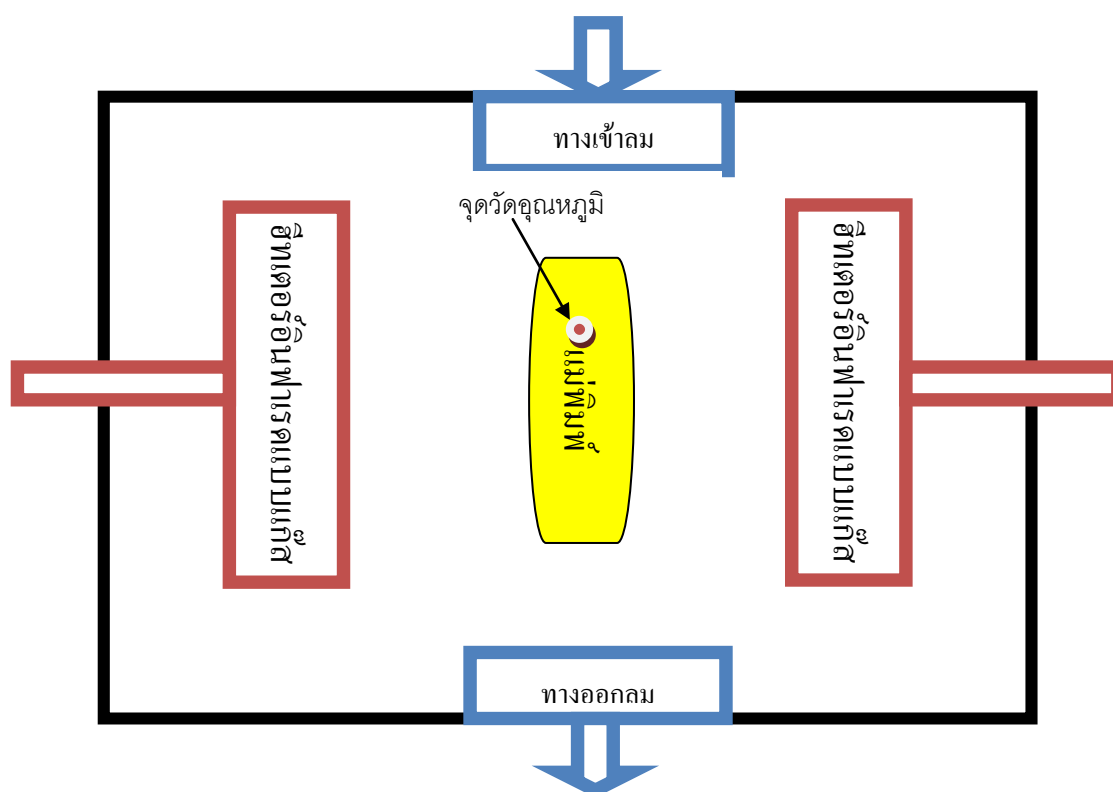


ที่ปรับปรุง

รูป 6 เปรียบเทียบด้านในตู้อบ



รูป 7.1 แผนผังตู้อบก่อนปรับปรุงใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบไฟฟ้า



รูป 7.2 แผนผังตู้อบที่ปรับปรุงใส่ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊ส

4.2. การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

ปัจจัยที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้ การกระจายของอุณหภูมิในตู้อบ ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ เพื่ออบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง ต่อคุณภาพของถุงมือยาง โดยถุงมือยางที่ได้จะนำไปทดสอบการยืดตัว ตัวแปรที่ศึกษาสำหรับอินฟราเรดแบบแก๊สในงานวิจัยนี้จะใช้แปรตัวที่เหมือนกันกับการวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนเพื่อให้สามารถนำข้อมูลสถานะที่เหมาะสมมาเปรียบเทียบกันได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ (เซนติเมตร)	เวลาที่ใช้ในการ วัลคาไนซ์(นาท)
80 ,100 และ 120	5, 10 และ 15	5, 10 และ 15

โดยการศึกษาครั้งนี้จะ ทดสอบกับถุงมือยางที่เป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยใช้ น้ำยางชนิดพรีวัลคาไนซ์ (PVHA) ใช้สารช่วยให้อุ่นน้ำยาง และแม่พิมพ์ถุงมือยาง ขนาดกลาง โดยมีขั้นตอนการ การเตรียมถุงมือยางก่อนการวัลคาไนซ์ดังนี้

1. เตรียมน้ำยาง
2. นำแม่พิมพ์ถุงมือยางที่สะอาดแล้วไปอุ่นให้แม่พิมพ์ถุงมือยางแห้งหมาดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที
3. นำแม่พิมพ์ที่อุ่นแล้วจุ่มลงในสารช่วยให้ยางจับตัว ที่เป็น สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 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 รอบเพื่อให้ยางมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแม่พิมพ์ถุงมือยางและไม่ให้หยคน้ำยางติด
6. นำไปอบในตู้อบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรด

เมื่อถุงมือยางที่ผ่านการอบวัลคาไนซ์แล้วจะนำไป ทดสอบคุณสมบัติของถุงมือยาง โดยทำการทดสอบยืดอยู่ตัว (Tension set) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 : Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำถุงมือยางที่ได้มาตัดเป็นรูปดัมป์เบลล์ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยที่ขึ้นทดสอบมีความหนา 0.7 มิลลิเมตร และใช้ระยะพีกัด 33 มิลลิเมตร
- วัดแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง โดยจัดเตรียมถุงมือที่ตัดเป็นรูปดัมป์เบลล์เรียบร้อยแล้วมาจึงไว้กับตัวจับยึดชิ้นงาน
- จากนั้นใช้โหลดขนาด 10 กิโลนิวตัน ในการดึงถุงมือยางจนขาด จะได้แรงทั้งหมดที่ใช้ในการดึงถุงมือยางแบบดัมป์เบลล์จนขาดลักษณะการดึง
- ตรวจสอบรอยขาดอยู่ตรงบริเวณที่ต้องการให้ขาดหรือไม่

4.3 การหาค่าพลังงานและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของการวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดแบบแก๊ส

การวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด แบบแก๊สนั้นใช้หัวอินฟราเรด ที่ให้ความร้อน 2,700 kcal/hr หรือ 3 kW ที่มี ขนาด 10 x 30 ซม. จำนวน 2 ตัว โดยวัดอัตราการไหลด้วยโรตاميเตอร์และนำอัตราการไหลกับค่าความร้อนของแก๊สมาคิดเป็นค่าพลังงานความร้อนของการวัลคาไนซ์ ส่วนอัตราการใช้ไฟฟ้าของ Blower วัดจากเครื่องวัด ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และนำค่าพลังงาน และค่าใช้จ่าย โดยรวมมาเปรียบเทียบกับการใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับลมร้อน

5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

5.1 การกระจายของอุณหภูมิของถุงมืออย่างด้วยการวัดคาโนซ์ด้วยอินฟราเรดแบบแก๊ส

ขณะทำการอบวัดคาโนซ์ถุงมือและแม่พิมพ์จะได้รับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่เป็นฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊ส โดยถุงมืออย่างและแม่พิมพ์จะได้รับความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือโซนที่มีสีฟ้าจะเป็นส่วนบริเวณหน้าและหลังมืออุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนด้านหน้าของนิ้วหลังของนิ้ว และโคนนิ้วจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น สังเกตได้จากจะมีสีเหลืองและแดง

ตามรูป 8 ที่แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ที่ 10 เซนติเมตร ของอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับที่เวลา 5 นาที พบว่าอุณหภูมิของถุงมืออย่างและแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคู่มือที่อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส โดยที่หน้ามือด้านขวาจะมีอุณหภูมิประมาณ 124.8 องศาเซลเซียส โดยที่จุดนี้มีเทอร์โมคัปเปิลเปิดและอยู่เพื่อเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนและเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส หากทำการให้ความร้อนต่อไปจนถึงนาที่ที่ 10 อุณหภูมิของถุงมืออย่างและแม่พิมพ์บริเวณกลางฝ่ามือจะอยู่ที่ 150-160 องศาเซลเซียส ส่วนโคนนิ้วและนิ้วอุณหภูมิจะขึ้นไปถึง 190-200 องศาเซลเซียส ทำให้ถุงมือใหม่ปริมาณโคนนิ้วและนิ้ว ดังนั้นนาที่ที่ 10 และ 15 จึงไม่เหมาะสมต่อการอบวัดคาโนซ์เนื่องจากถุงมือจะไหม้ ส่วนระยะห่างที่ 5 เซนติเมตร ถุงมือจะไหม้ก่อนถึงนาที่ที่ 5 และถุงมือยังสุกไม่ทั่ว ส่วนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสถุงมือใหม่ก่อนถึงเวลา 5 นาทีที่ระยะ 5, 10, 15 เซนติเมตรเช่นกัน ดังนั้นจึงทำการทดสอบที่เวลา 5 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสที่ระยะ 10 และ 15 เซนติเมตรเท่านั้น และ 100 เซนติเมตร ระยะ 15 เซนติเมตร

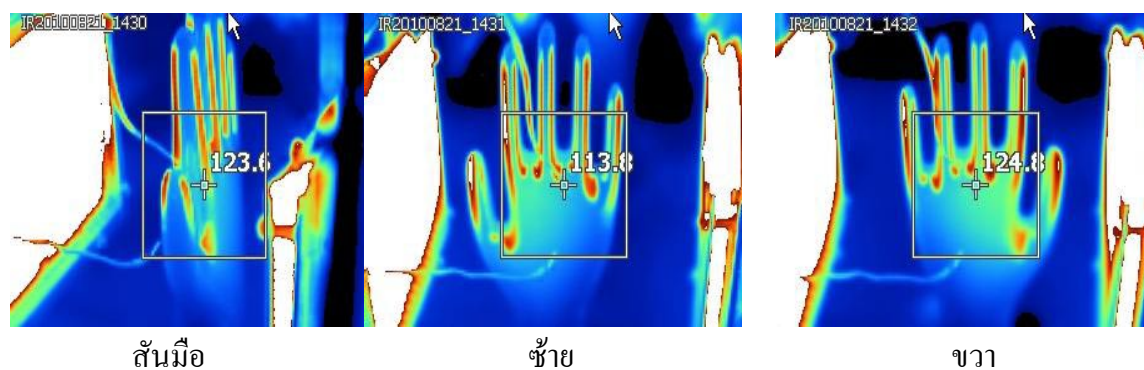
รูป 8 และ 9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 องศาเซลเซียสเป็น 100 องศาเซลเซียสจะทำให้อุณหภูมิของถุงมืออย่างบริเวณกลางฝ่ามือเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะ 10 เซนติเมตร นาที่ที่ 5 ถุงมืออย่างได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงจนทำให้ไหม้บริเวณโคนนิ้ว หากให้ความร้อนต่อไปถุงมืออย่างจะไหม้บริเวณกลางฝ่ามือทั้งสองด้าน เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ไปที่ระยะ 15 เซนติเมตร ที่นาที่ที่ 5 ตามรูป 10 และ 11 อุณหภูมิคู่มือ 80 และ 100 องศาเซลเซียส จะพบว่าอุณหภูมิของถุงมืออย่างและแม่พิมพ์บริเวณกลางฝ่ามือ บริเวณของโคนนิ้วและนิ้วจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ระยะ 10 เซนติเมตร แต่หากยังคงให้ความร้อนต่อไปจนถึงนาที่ที่ 10 ถุงมือจะไหม้บริเวณโคนนิ้วมือก่อนและกลางฝ่ามือตามมา ที่ระยะห่างนี้อุณหภูมิที่กลางฝ่ามือจะมีอุณหภูมิสม่ำเสมอมากกว่าอีกด้วย การเพิ่มระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์และถุงมืออย่าง จะทำให้อุณหภูมิของถุงมืออย่างลดลงและการกระจายของอุณหภูมิจะสม่ำเสมอกว่า

หากใช้ลมร่วมกับการใช้อินฟราเรดแบบแก๊ส ดังรูป 12 และ 13 โดยลมที่เข้ามาจากโบลเวอร์ที่ทำหน้าที่ดูดอากาศด้านล่างของคู่มือและปล่อยลงมาด้านบนของคู่มือ ส่งผลให้อุณหภูมิของถุงมืออย่างและแม่พิมพ์บริเวณกลางฝ่ามือสูงขึ้น แต่การกระจายของอุณหภูมิจะดีกว่า โดยไปช่วยลดอุณหภูมิ

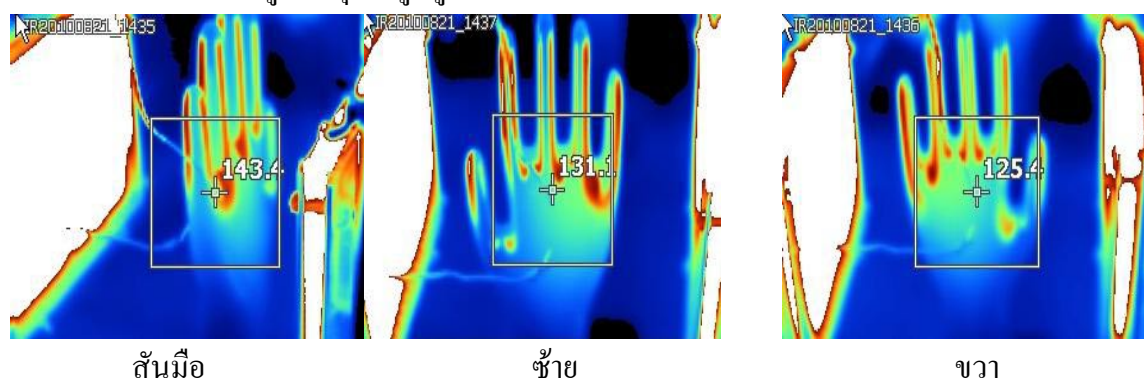
บริเวณโคนนิ้วและนิ้วลง เนื่องจากขณะที่ให้ความร้อนด้วยแก๊ส อากาศร้อนภายในตู้จะลอยตัวอยู่ด้านบน ทำให้อากาศด้านบนตู้อบมีอุณหภูมิสูงกว่าตรงกลางและด้านล่างของตู้อบ เมื่อใช้โบลเวอร์ดูดอากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ด้านล่างและเป่าลงมาด้านบนเพื่อไปผสมกับอากาศร้อนด้านบน จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสม่ำเสมอมากขึ้น และทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบสูงขึ้น และอากาศร้อนเคลื่อนที่ลงมาจากผนังด้านบน ลงมาด้านล่างของตู้อบ เลยทำให้อุณหภูมิของถุงมือยางและแม่พิมพ์สูงขึ้น และไปลดอุณหภูมิช่วยทำให้ไม่เกิดการไหม้บริเวณโคนนิ้วและยังช่วยทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอมากขึ้นอีกด้วย ดังรูป 12 และ 13 ที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเมื่อเปิดพัดลมจะทำให้ อุณหภูมิ กระจาย สม่ำเสมอมากขึ้นแต่ทำให้อุณหภูมิสูงมากขึ้นจนทำให้ถุงมือไหม้บริเวณกลางฝ่ามือ

หากเปรียบเทียบกับการใช้อินฟราเรดแบบไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับลมร้อน (ธนสิทธิ์และคณะ, 2551) แล้ว พบว่าการใช้อินฟราเรดแบบแก๊ส ถุงมือยางและแม่พิมพ์จะมีอุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากได้รับความร้อนมากกว่าที่เวลาและระยะห่างเท่ากัน และถุงมือยางมีโอกาสไหม้ได้สูงกว่าอีกด้วย

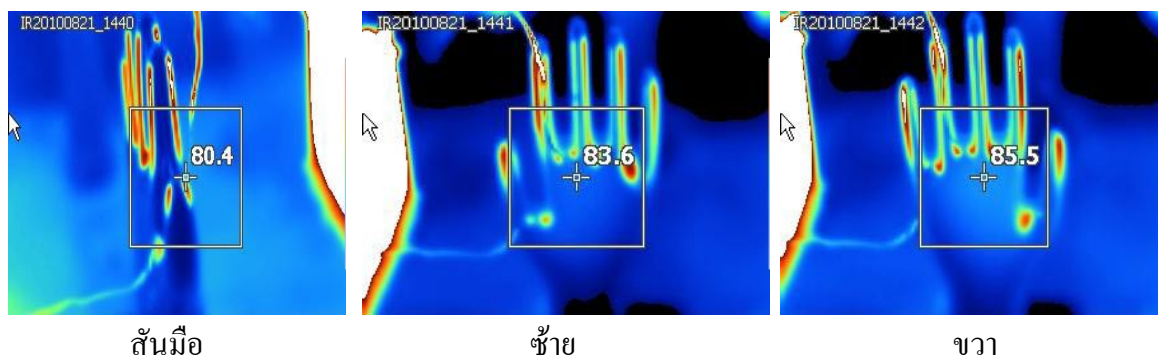
ดังนั้นในการวัลคาไนซ์ถุงมือยาง ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยาง ส่วนเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นั้นก็มีผลต่อความร้อนที่ได้รับหากได้รับมากเกินไปจะทำให้ถุงมือยางไหม้ได้ หากน้อยไปจะทำให้ถุงมือยางยังวัลคาไนซ์ได้ไม่ดีพอ ทำให้ถุงมือยางไม่คงรูปและการยึดตัวไม่เป็นไปตามมาตรฐาน



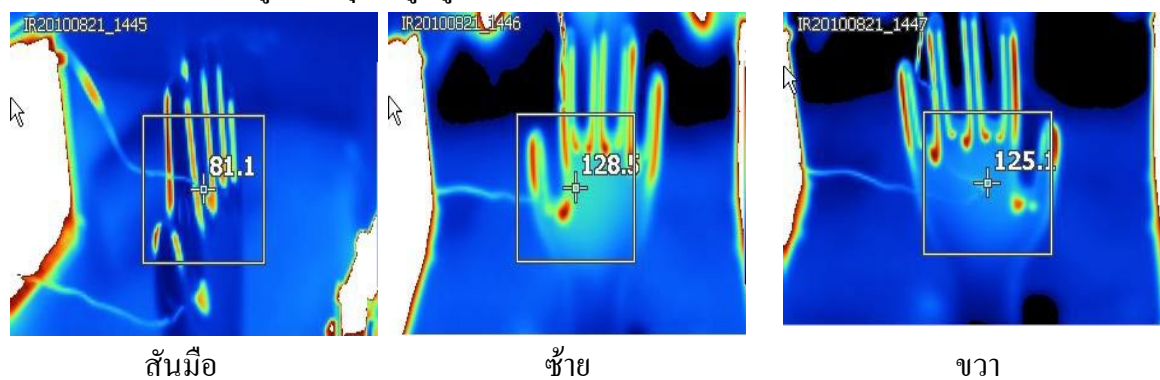
รูป 8 อุณหภูมิตู้อบ 80 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร



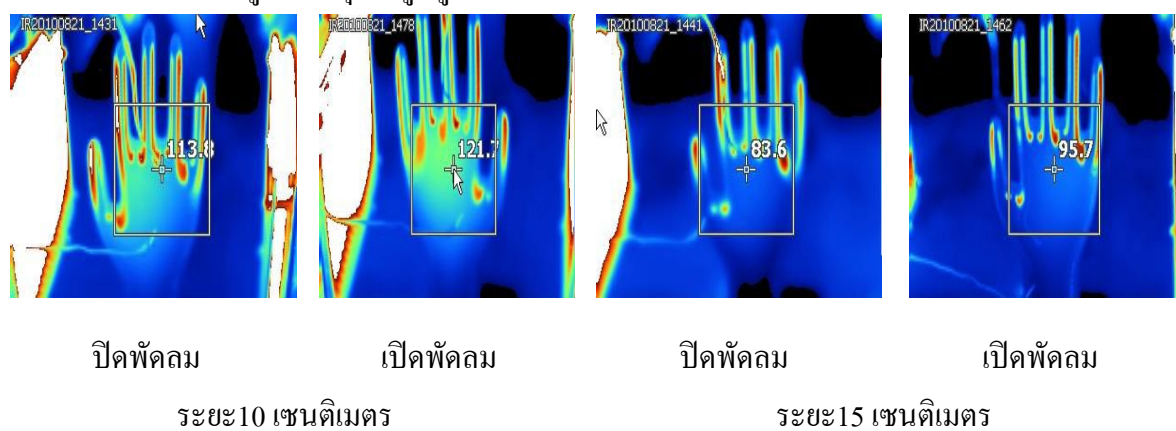
รูป 9 อุณหภูมิตู้อบ 100 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร



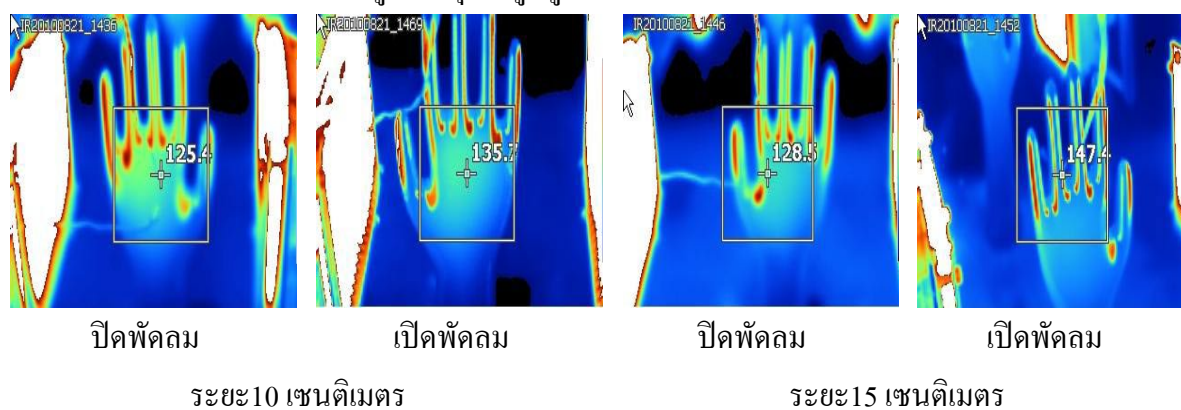
รูป 10 อุณหภูมิคู่อบ 80 องศาเซลเซียส ระยะ15 เซนติเมตร



รูป 11 อุณหภูมิคู่อบ 100 องศาเซลเซียส ระยะ15 เซนติเมตร



รูป 12 อุณหภูมิคู่อบ 80 องศาเซลเซียส



รูป 13 อุณหภูมิคู่อบ 100 องศาเซลเซียส

5.2 ลักษณะของถุงมือยางหลังการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดแก๊ส

สภาวะที่เหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางมีตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์กับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ โดยพิจารณาควบคู่กับ ลักษณะของถุงมือยางที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2 พบว่าเวลานาทีที่ 5 การวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่าง 10, 15 เซนติเมตร ถุงมือยางจะสุกไม่ว่าจะปิดหรือเปิดพัดลม แต่การเปิดพัดลมทำให้อุณหภูมิของกลางฝ่ามือ ดังรูป 12 หากให้ความร้อนต่อไปถุงมือยางจะไหม้ส่วนโคนนิ้วและนิ้ว และกลางฝ่ามือส่วนที่ระยะ 5 เซนติเมตร ถุงมือยางจะไหม้ก่อนถึงนาทีที่ 5 และถุงมือยางยังสุกไม่ทั่ว หากลดเวลาลงถุงมือยางก็ยังไม่สุก ดังนั้นที่ระยะ 5 เซนติเมตรจึงไม่เหมาะสม ส่วนการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ถุงมือยางจะไหม้และละลาย ที่ทุกระยะ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ดังนั้นที่ 120 องศาเซลเซียส จึงไม่สามารถที่จะทำการวัลคาไนซ์ได้ จากรูป 12 จะพบว่าเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่ว่าจะปิดหรือเปิดพัดลม จะทำให้ถุงมือยางไหม้ ส่วนที่ระยะ 15 เซนติเมตร ขณะปิดพัดลม ยังไม่ไหม้ถุงมือยางสุกจนทั่ว แต่เมื่อเปิดพัดลมจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเกือบ 147 องศาเซลเซียส และถุงมือยางจะเริ่มไหม้

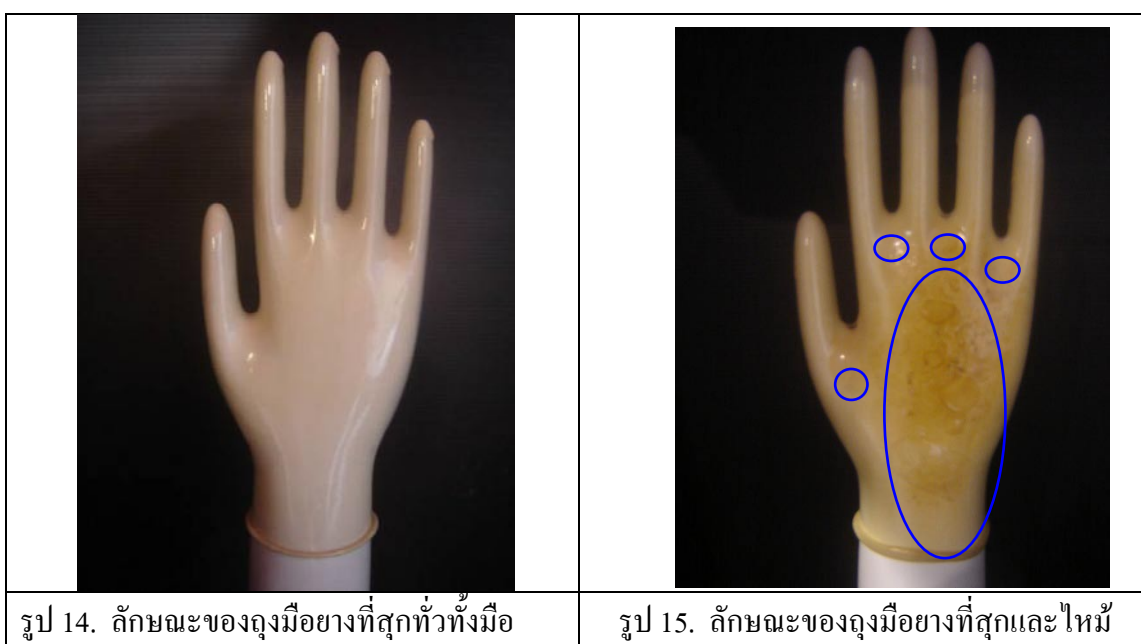
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางหลังจากทำการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดแบบแก๊ส

อุณหภูมิของตู้อบ (องศาเซลเซียส)	ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์ อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ (เซนติเมตร)	โบล์เวอร์	ลักษณะทางกายภาพ ของถุงมือยาง
80	10,15	ปิดและเปิด	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ
100	15	ปิด	ถุงมือยางสุกทั่วทั้งมือ
100	10	ปิดและเปิด	ถุงมือยางไหม้
100	15	เปิด	ถุงมือยางไหม้
80,100	5	ปิดและเปิด	ถุงมือยางไหม้
120	5,10,15	ปิดและเปิด	ถุงมือยางไหม้

ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของถุงมือยาง ในการวัลคาไนซ์แล้วคือ อุณหภูมิ ระยะห่างระหว่าง ฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ เวลาและลมร้อนที่หมุนเวียนภายในตู้อบ ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ถุงมือยาง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ถุงมือยาง ได้รับความร้อนมากขึ้นและจะ สุกทั่วทั้งมือ หากได้รับความร้อนมากเกินไป สุกจนเกือบไหม้ และสุกจนไหม้ แล้วละลาย ตามปริมาณที่ ได้รับความร้อน ส่วน ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ ที่ระยะห่างน้อยที่สุด 10

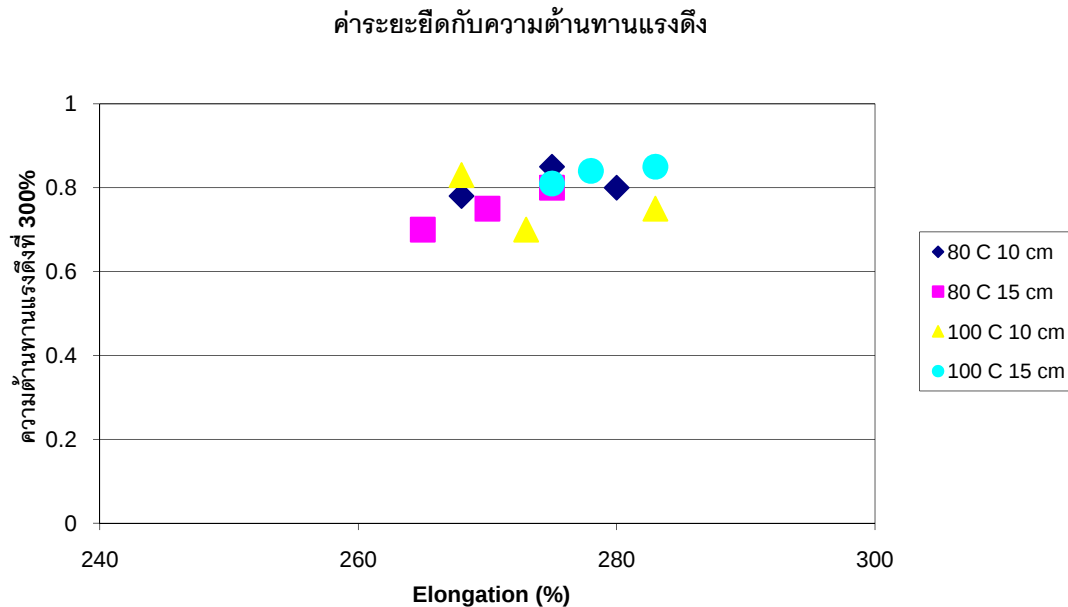
เซนติเมตร ถุงมือยางที่ได้จะสุกในทุกช่วงอุณหภูมิที่เวลา 5 นาที ถ้าใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นานจะทำให้ถุงมือยางสุกจนไหม้เช่นเดียวกัน

ลักษณะของถุงมือยางที่สุกทั่วทั้งมือจะสังเกตได้จากบริเวณปลายนิ้ว จะมีลักษณะขาวใส รวมถึงบริเวณง่ามนิ้วมือ โคนนิ้ว และบริเวณกลางฝ่ามือ โดยรวมแล้วทั้งมือจะมีลักษณะของสีที่สม่ำเสมอคือขาวใส ดังรูป 14 ส่วนลักษณะของถุงมือยางที่ไหม้บริเวณ กลางฝ่ามือจะไหม้จนละลายติดกับแม่พิมพ์ถุงมือยาง และส่วนโคนนิ้วที่เริ่มไหม้ดังรูป 15



5.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของยางหลังการวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของถุงมือยางไม่สามารถกำหนดได้ว่าถุงมือยางมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน ASTM D 412 หรือไม่ ดังนั้น จึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่อไปนี้คือ ความเค้นดึงที่ความยืดที่กำหนดเท่ากับ 300 เปอร์เซนต์ (Modulus) ความทนแรงดึง (Tensile Strength) ความยืด (Elongation) และ ความยืดขาดหรือความยืดสูงสุด (Elongation at Break) จากรูปที่ 16 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ 300 % อยู่ในช่วง 0.6–1 เมกะพาสคาล และค่า % Elongation ที่ทุกช่วงการทดสอบได้ค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 260–290 % มีค่าไม่แตกต่างกันมากและได้ลักษณะของถุงมือยางอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และค่าความต้านทานต่อแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐานของ ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว ASTM D412-97/ ISO 37-1994/ มอก. 1056-2540 ข้อ 6.3.1 ค่า % Elongation อยู่ในช่วงตรงตามมาตรฐานเท่ากับ 300–1000 %



รูป 16. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงที่ 300% กับ Elongation

5.4 การใช้พลังงานในการวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

ในการวัลคาไนซ์ยางมีตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานต่างกัน คือระยะเวลาในการทดลอง ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ยางกับหลอดอินฟราเรด และอุณหภูมิในตู้อบ ในแต่ละการทดลองจะต้องการหาสภาวะที่เหมาะสม จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบวัลคาไนซ์ยางมาคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ได้แสดงไว้ในตาราง 3 ที่แสดงปริมาณการใช้พลังงาน โดยเปรียบเทียบพลังงานจากการใช้อินฟราเรดแบบแก๊ส การใช้อินฟราเรดแบบแก๊สร่วมกับลมที่หมุนเวียน ภายในตู้อบ ด้วยโบล์เวอร์ และอินฟราเรดแบบไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนที่ได้ที่ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบคริบเพื่ออุ่นอากาศให้ร้อนและควบคุมอุณหภูมิของอากาศและหมุนเวียนด้วยโบล์เวอร์ อินฟราเรดแบบไฟฟ้าใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 2,000 วัตต์ กับ ลมร้อนจะใช้ฮีตเตอร์แบบคริบ 3,000 วัตต์ และโบล์เวอร์ 110 วัตต์ ในชุดลมร้อนจะใช้พลังงานรวมประมาณ 3,110 วัตต์ ในส่วนการใช้ไฟฟ้าของลมร้อนนั้น โบล์เวอร์จะทำงานตลอดเวลา ทำให้มีการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา 110 วัตต์ ส่วนฮีตเตอร์แบบคริบที่ให้ความร้อนกับลมร้อนจะมีการทำงานเป็นช่วงเวลาเพื่อทำให้อุณหภูมิลมร้อนคงที่ตามค่าที่ตั้งไว้ ส่วนการทำงานของฮีตเตอร์อินฟราเรดจะมีการทำงานเป็นช่วงเวลาเช่นกัน เพื่อทำให้อุณหภูมิของตู้อบคงที่

ตาราง 3 แสดงค่าปริมาณพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยางต่อการทดลอง และนำค่าจากตารางไปคำนวณเปรียบเทียบจะได้ รูป 17 และ 18 ที่แสดงค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย โดยเทียบกับสภาวะที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร เวลา 5 นาที ที่มีการใช้พลังงานต่ำสุดสำหรับการใช้แก๊สอินฟราเรด ประมาณ 653 kJ ผล

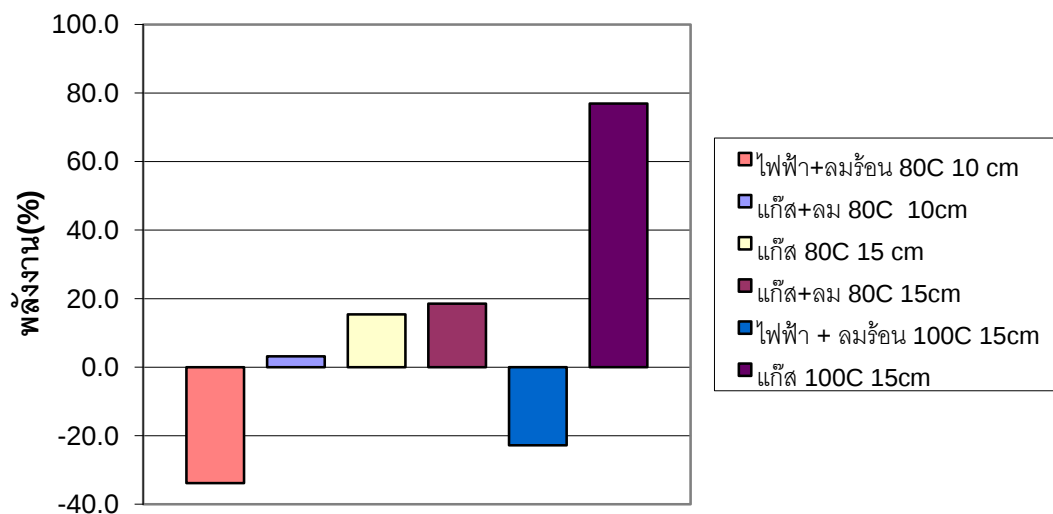
ที่ได้จะพบว่าการใช้ลมร่วมกับแก๊สจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอีก 3% หากเทียบกับการใช้ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและระยะ 10 เซนติเมตร การใช้แก๊สจะใช้พลังงานสูงกว่า 34% แต่จะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าประมาณ 38% เนื่องจากพลังงานจากไฟฟ้า 1MJ จะมีค่าไฟประมาณ 0.83 บาท ส่วนแก๊สจะอยู่ที่ 0.4 บาท จะพบว่าแก๊สถูกกว่าไฟฟ้าถึง 2 เท่า ดังนั้นหากต้องการใช้พลังงานที่เทียบเท่ากันการเลือกใช้แก๊สจะช่วยลดต้นทุนได้มากกว่า ในการทดลองหากเพิ่มระยะระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับถุงมือยาง เป็น 15 เซนติเมตร จะใช้แก๊สเพิ่มขึ้นประมาณ 19 % ส่วนค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 15% สำหรับการใช้แก๊สและแก๊สร่วมกับลม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส การใช้ไฟฟ้ากับลมร้อนจะใช้พลังงาน และมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้แก๊สอีกด้วย ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะห่าง 15 เซนติเมตร การใช้แก๊สจะมีต้นทุนสูงกว่าการใช้ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน เนื่องจากพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดแบบแก๊สจะ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลาและ ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ถุงมือยาง ซึ่งต่างกับการใช้ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาณพลังงานที่ใช้ไม่ขึ้นกับ ระยะห่าง เนื่องมาจากการใช้อินฟราเรดไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนหากเพิ่มระยะทางลมร้อนยังช่วยทำให้ถุงมือยางสุก ดังนั้นการใช้อินฟราเรดแบบแก๊สหากใช้ลมหมุนเวียนเป็นลมร้อนช่วยก็จะทำให้ ระยะห่างไม่มีผลต่อแก๊ส ที่ใช้แต่จะเพิ่มค่าไฟฟ้ามาแทน แต่ก็ยังมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้แก๊ส ดังนั้นการใช้แก๊สเหมาะสำหรับที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะ 10 และ 15 เซนติเมตร ส่วนที่ 100 องศาเซลเซียส ระยะ 15 เซนติเมตรจะมีต้นทุนสูงกว่าการใช้ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน ต้นทุนค่าไฟฟ้าและลมร้อน 1,200 kJ/บาท ค่าแก๊ส 2,511 kJ/บาท และค่าแก๊สและลมร้อน 2,407 kJ/บาท

ตาราง 3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

อุณหภูมิ	ระยะ	ไฟฟ้าและลมร้อน		แก๊ส		แก๊สและลม	
(°C)	(cm)	(kJ)	(บาท)	(kJ)	(บาท)	(kJ)	(บาท)
80	10	432	0.36	653	0.26	674	0.28
80	15	-	-	753	0.30	774	0.32
100	15	504	0.42	1,155	0.46	1,176	0.48

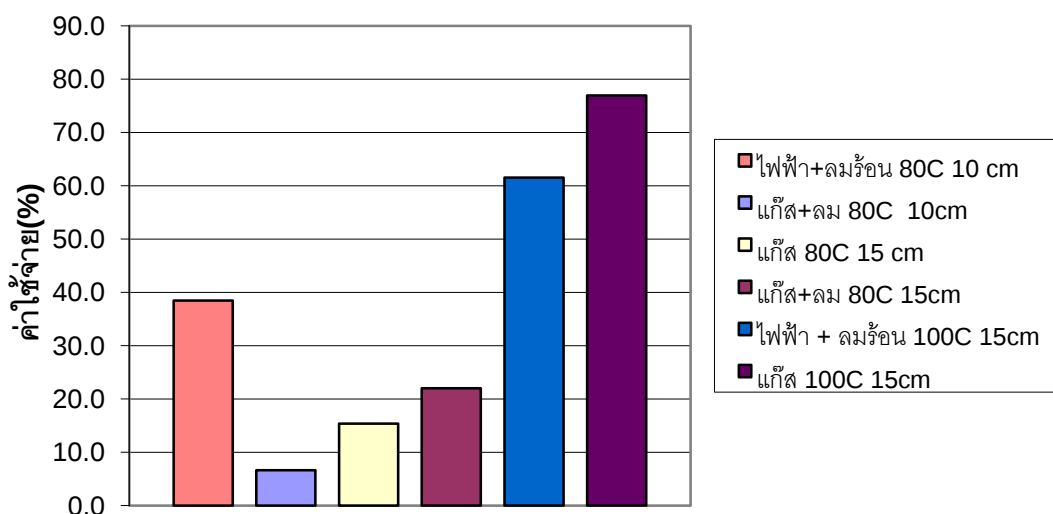
หมายเหตุ คิรราคาแก๊สหุงต้ม 20 บาทต่อกิโลกรัม และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท

เปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์



รูป 17 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง โดยเทียบกับการใช้แก๊สที่สถานะที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร เวลา 5 นาที

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการอบวัลคาไนซ์



รูป 18 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง โดยเทียบกับการใช้แก๊สสถานะที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร เวลา 5 นาที

6.สรุปผล

1. ได้ปรับปรุงตู้อบวัลคาไนซ์ให้ใช้อินฟราเรดแบบแก๊สสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยมีฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊สที่ให้ความร้อน 2,700 kcal/hr หรือ 3 kW ขนาด 15 x 20 ซม. จำนวน 2 หัว พร้อมกับวาล์วควบคุมปริมาณแก๊ส อุปกรณ์วัดอัตราการไหล และชุดควบคุมการจ่ายแก๊สแบบเดินเบาและแบบเร่ง

2. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางคือที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดและแม่พิมพ์ 10 และ 15 เซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที และที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดและแม่พิมพ์ 15 เซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที

3. คุณสมบัติของถุงมือยางหลังการวัลคาไนซ์ได้ค่าความต้านทานแรงดึง 300% อยู่ในช่วงที่ 0.6–1 เมกะพาสคาล และค่า %Elongation ที่ทุกช่วงการทดสอบได้ค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 260–290% และ ค่า % Elongation เป็นไปตามมาตรฐาน

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายของอุณหภูมิบนถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์นั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ให้กับถุงมือยางขณะทำการวัลคาไนซ์ และระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับ แม่พิมพ์ เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นั้นมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิขณะทำการวัลคาไนซ์ และมีผล ต่อความสึก ปริมาณการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงาน โดยสภาวะที่มีค่าใช้จ่าย ต่ำสุดคือที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดและแม่พิมพ์ 10 เซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที

5. การอบวัลคาไนซ์ ถุงมือยางแบบอินฟราเรด ด้วยแก๊สที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดและแม่พิมพ์ 10 เซนติเมตร ที่เวลา 5 นาที จะใช้พลังงานสูงกว่าการใช้อินฟราเรดแบบ ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน ประมาณ 34 % แต่แก๊สมีต้นทุนด้านราคาต่อหน่วย พลังงานถูกกว่าไฟฟ้าทำให้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าไฟฟ้าประมาณ 39% แต่ที่ 100 องศาเซลเซียส ไฟฟ้าจะมี ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแก๊สประมาณ 16% เนื่องจากมีพลังงานที่ใช้จากแก๊สสูงกว่าพลังงานจากไฟฟ้า เกือบสองเท่า จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

สรุปได้ว่าการวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรดแก๊สจะใช้พลังงานสูงกว่าอินฟราเรดแบบ ไฟฟ้าร่วมกับลมร้อน แต่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำกว่า

7. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

การนำผลการวิจัยไปใช้ เพื่อผลิตถุงมือยาง ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่า ในด้านการ ลงทุนและค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายจากค่าพลังงาน เนื่องจากในการวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบอินฟราเรด แบบแก๊ส และอินฟราเรดแบบไฟฟ้า ร่วมกับลมร้อนนั้นใช้เวลาในการวัลคาไนซ์สั้น กว่าที่ใช้ลม ร้อนที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตถุงมือ แต่ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการ วิจัยสำหรับ ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยได้ทดสอบแม่พิมพ์ที่ละ 1 แม่พิมพ์ หากจะมีการนำช่วงอุณหภูมิ ระยะห่าง ระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการวัล คาไนซ์ที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ ควรทดสอบครั้งละหลายแม่พิมพ์ในตู้อบ เพื่อพิจารณาในส่วนระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์ อินฟราเรด กับจำนวนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอบ โดยการนำสภาวะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เพื่อเ ปรียบเทียบ ผลที่ได้ก่อนนำไปใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย พิศดา เนตรงามและกิตกร กาญจนกิจตะ . 2549. การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม . ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย จิตามร เชื้ออนปัญญา วงเดือน พูนสวัสดิ์. 2551. การพัฒนาเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง 2 .สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย อติชัย รุ่งวิชานวัฒน์ อาชีชัน แกสมาน และวุฒิสักดิ์ สิริทองถาวร. 2538. เทคโนโลยียาง: สมบัติและผลิตภัณฑ์. สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย . 2548. ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน . พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). กรุงเทพฯ.
- วรารักษ์ จรุงไชยกุล วิภา เสวตกนนิษฐ์ และอำพันทอง ทองคำ . 2529. การผลิตถุงมือยางเคลือบผ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:<http://www.rubberthai.com/research/year/39/22.htm>
- วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. 2548. เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร . พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.
- ศิริโรตม์ เกตุแก้ว พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก ชีระ คุณชล และเกรียงศักดิ์ อภิโมกษ์. 2545. เครื่องอบเมล็ดและฝักพืชด้วยอินฟราเรด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
:<http://www.ismed.or.th/knowledge/showcontent>.
- อำไพศักดิ์ ธิบุญมา และธนภัทร สุวรรณบุญ. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับอินฟราเรด. ว. วิศวกรรมสาร มข. 34 (2): 189-201. (20 มีนาคม 2551)
- Hall, C. W. 1962. Theory of infrared drying. *Trans. ASAE* 5: 14-16.
- 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.

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“การศึกษาเปรียบเทียบการอบถูงมื่ออย่างด้วยอินฟาเรดแบบไฟฟ้าและแบบแก๊ส” สัญญาเลขที่ RDG5150042

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)</u> 1. การเขียนเข้าใจยาก ขอให้ใช้รูป/ตาราง/กราฟในการอธิบายมากขึ้น เช่น หน้า 12 การใช้ heater ไฟฟ้า มีอะไรบ้าง ที่เขียนมีทั้งแบบ infrared และแบบครีป แต่การเปรียบเทียบ หน้า 13 ตารางที่ 3 ไม่ได้แยกประเภทออกจากกัน 2. หน้า 7 ย่อหน้าสุดท้าย อ่านแล้วไม่เข้าใจว่านักวิจัยต้องการสื่อถึงอะไร ขอให้ตรวจสอบวิธีการเขียนใหม่	1. ได้ปรับปรุงตามคำแนะนำ 2. ได้เรียบเรียงการเขียนใหม่ ให้สื่อความหมายได้ชัดเจนมากขึ้น
<u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u> 1. ควรเพิ่มเติมความรู้เชิงหลักการในเรื่องของการอบถูงมื่ออย่าง และให้แนวคิดในเรื่องปริมาณพลังงานที่ใช้ 2. ควรเพิ่มเติมความรู้เชิงหลักการของ Gas infrared และองค์ประกอบของชุดกำเนิด infrared 3. หลักคิดของโครงการนี้คือ แก๊สจะถูกกว่าไฟฟ้า (infrared) เพราะราคา/หน่วยความร้อนต่างกัน ดังนั้นควรค้น conversion efficiency มาเป็น assumption สนับสนุนงานวิจัยนี้ 4. การมีลมเป่าทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกับการเกิด convection mass transfer เร่งการแห้ง และทำให้สุกเร็วขึ้น ควรอภิปรายผลส่วนนี้ด้วย เพื่อสนับสนุนสิ่งที่ได้พบในงานวิจัยนี้	1. ได้เพิ่มไว้ในหน้า 1-2 2. ได้เพิ่มไว้ในหน้า 3 3. ได้เพิ่มไว้ในหน้า 15-16 4. ได้เพิ่มคำอธิบายไว้ในหน้าที่ 10-11

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
5. ควรเขียน diagram ของเตาอบทั้งก่อนและหลังปรับปรุง โดยระบุตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วย 6. ขอให้เพิ่มเติมข้อมูลที่ใช้นับสนุนข้อสรุปเหล่านี้ 6.1 การกระจายของอุณหภูมิขึ้นกับระยะห่าง (หน้าที่ 7) 6.2 เวลาไม่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิ (หน้าที่ 7) 7. Heater แก๊ส มี capacity 2,700 kcal/h ควรแปลงเป็น watt เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับ heater ไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม capacity นี้เป็น “rate” ค่าความร้อนจริงต้องมาจาก gas flow rate จาก rotameter 8. ทำไม infrared แก๊สจึงใช้พลังงานมากกว่า infrared ไฟฟ้า ขอให้อธิบายและเพิ่มเติมข้อมูลดิบของการใช้พลังงาน 9. ขอให้เพิ่มเติมผลของการเปิดและไม่เปิดพัดลม 10. รูปที่ 14 ค่าบนแกน y ตีคลบแสดงว่า 0% ต้องเป็น reference ดังนั้นค่าบนแกน y ต้องระบุว่าเป็น % base on อะไร	5. ได้เพิ่ม diagram ในหน้าที่ 7-8 ของเตาอบทั้งก่อนและหลังปรับปรุง โดยระบุตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วย 6. ได้เพิ่มเติมข้อมูลที่ใช้นับสนุนข้อสรุปเหล่านี้ 6.1 ได้เพิ่มข้อมูลไว้ในหน้าที่ 10-11 6.2 ได้เพิ่มข้อมูลไว้ในหน้าที่ 10-11 7. ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊ส แบบที่เลือกใช้งานวิจัยนี้ ถูกกำหนดว่าสามารถให้ความร้อนได้ 2,700 kcal/hr หรือ 3 kW โดยได้แก้ไขหน่วยในหน้า 5, 10 และ 17 ส่วนอัตราการให้ความร้อนขณะใช้งานจริง นั้นวัดจากอัตราการไหลของแก๊สและนำไปคำนวณหาอัตราการให้ความร้อน 8. อินฟราเรดแก๊ส ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง พลังงานที่ได้มาจากการเผาไหม้แก๊สหุงต้มจะให้ความร้อนสูงแต่ราคาจะถูกกว่าการใช้ไฟฟ้า ข้อมูลการใช้พลังงานแสดงในตาราง 3 9. ข้อมูลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายแสดงดังตาราง 3 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้แก๊ส เทียบกับการใช้แก๊สร่วมกับลม โดยลมที่ได้มาจากพัดลม ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมจะสามารถคำนวณได้ โดยนำค่า แก๊สและลมลบออกจากแก๊ส จะได้เป็นค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายสำหรับพัดลม 10. รูป 17 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในการอบวัลคาไนซ์ถูงมียางโดยเทียบกับโดยเทียบกับสภาวะที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร เวลา 5 นาที ได้เพิ่มเติมรายละเอียดได้คำอธิบายรูป 17 และ 18 แล้ว

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
11. จากหน้า 6 ข้อ 5.1 จะเห็นได้ว่ามีปัญหาเรื่องการวัดและควบคุมอุณหภูมิ เพราะตั้งที่ 80°C แต่วัดได้ถึง 124.8°C ดังนั้นสรุปสุดท้ายว่าอบที่ 80°C 15 ชม. เป็นเวลา 5 นาที นั้นใช้ไม่ได้ และทำให้ผลที่ได้ไม่ใช่ generic knowledge ที่สามารถนำไปใช้ได้ 12. จากผลสรุปที่ระบุว่า “ประหยัดค่าใช้จ่าย 39% ที่ 80°C และเพิ่มค่าใช้จ่าย 16% ที่ 100%” ควรอธิบายเหตุผลประกอบการสรุปนี้	11. การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ จะวัดจากอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ เป็นหลักเช่นที่ 80°C ส่วนอุณหภูมิของถุงมือยางที่ขึ้นไปถึง 124.8°C เป็นจุดวัดอุณหภูมิไม่ใช่จุดที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบทุกๆ ไปจะวัดและควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายใน ไม่ได้ควบคุมที่ถุงมือยางหรือตัวผลิตภัณฑ์เลยทำให้อุณหภูมิของถุงมือยางสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้อบ เพราะได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนเป็นหลัก จากฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแก๊ส 12. ได้เพิ่มเติมเหตุผลประกอบการสรุป ในบทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหารบทคัดย่อแล้วและในเนื้อหาหน้า 18