



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

Design and Development of the Vulcanized Rubber Drier

Using Infrared Radiation for Dipping Products

ชนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวยการและคณะ

ธันวาคม 2549

สัญญาเลขที่ RDG4850065

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

Design and Development of the Vulcanized Rubber Drier

Using Infrared Radiation for Dipping Products

คณะผู้วิจัย

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นักศึกษาช่วยทำวิจัย

นายคิตกร กาญจนคิตะ

นางสาวพริดา เนตรงาม

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยออกแบบและสร้างอุปกรณ์

สำหรับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จุ่มน้ำยางระดับชุมชน-แม่โจ้ (2)

Design and Development of Latex Dipping Equipment for Community Products

– MJU small project group (2)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตยางขึ้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือ การวัลคาไนซ์ยาง ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธีและถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อการประหยัดพลังงานและการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม และหาเงื่อนไขในการอบวัลคาไนซ์ยางโดยพิจารณาสมบัติด้านความแข็งแรงและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ การทดสอบอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางขนาดกลางด้วยเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด โดยใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดสีเคลือบพื้นผิวด้าน 1,000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร และเวลาอบ 5, 10 และ 15 นาที พบว่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วง 15-25 เมกะปาสคาล และ 700-850 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่ความเร็ว 1 เมตรต่อวินาทีและการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระได้ค่าในช่วง 15-25 เมกะปาสคาล และ 650-800 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลักษณะทางกายภาพชี้ให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร เมื่ออบวัลคาไนซ์ด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ ถุงมือจะสุกและถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายเช่นเดียวกับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ โดยการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลามากกว่า 15 นาที และจากการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในห้องอบพบว่า ถุงมือยางขณะที่อบวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรดมีอุณหภูมิสูงกว่าและสม่ำเสมอกว่าแบบลมร้อนทั้งสองแบบที่ตัวแปรต่างเดียวกัน

ABSTRACT

One of important processes in rubber production is rubber vulcanizing. There are several vulcanizing processes which are continuously developed for energy saving and a better quality of rubber products. The objective of this research is to design, develop and test the vulcanized rubber drier by using infrared radiation for dipping products. And also, searching for an appropriate drying condition based on strength and physical characteristic of the products. The experiment is conducted by vulcanizing disposable medical gloves medium size by using infrared vulcanizer. Two rectangular ceramic coated surface infrared heaters with 1,000 watt power each are used in this experiment. The performance test of natural rubber latex drying was based on 3 independent parameters and 3 different test conditions for each parameter; inside air temperature of 80, 100 and 120 °C, lateral distances between infrared emitters and the heated ceramic mold of 10, 15 and 20 cm and drying time of 5, 10 and 15 min. The test result showed that the tensile strength and elongation at breaking point were 15-25 MPa and 700-850 %, respectively. For drying by the hot air with controlled air velocity of 1 m/s and free convection hot air, the test result were more or less the same at 15-25 MPa and 650-800 %. The distance between emitters and surface of heated ceramic mold of 20 cm having air temperatures inside the chamber of 80 and 100 °C made the glove removal from heated ceramic mold much more easily when dried for 15 and 10 min, respectively. The easier glove removal was also affected by hot air drying with controlled air velocity at 1 m/s. On the contrary, free convection hot air lengthened the drying time more than 15 min; this happened even with very high air temperature inside the chamber (120 °C). Using the thermal image measured the temperature profile inside the driers with the same setting conditions, results showed that the vulcanized rubber drying by infrared had higher temperatures and more uniform than that of the two hot air driers.

หน้าสรุปโครงการ

- 1. ชื่อโครงการ** การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
คำสำคัญ เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม, การอบวัลคาไนซ์ยาง, การแผ่รังสีอินฟราเรด

Keywords Design and Development of the Vulcanized Rubber Drier Using Infrared Radiation for Dipping Products, Vulcanized Rubber, Rubber Drying, Infrared Radiation

- 2. ชื่อหัวหน้าโครงการ** อาจารย์ธนศิษฐ์ 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

- 3. หน่วยงาน** ชื่อสถาบันที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ
ชื่อ-สกุล อาจารย์รัชฎา เชื้อวิโรฒ
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 053-878-123
โทรสาร 053-498-902
E-mail -

- 5. ระยะเวลา** การดำเนินงาน 15 สิงหาคม 2548 - 30 พฤศจิกายน 2549

6. แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.หาข้อมูลเกี่ยวกับ เครื่องอบวัลคาไนซ์แบบ อินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์ แบบจุ่ม										
2.สร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ แบบอินฟราเรดสำหรับ ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม										
3.ทดสอบการทำงานเพื่อ ศึกษาสถานะและเงื่อนไข										
4.วิเคราะห์ปัญหา สรุปผล และเขียนรายงาน										

7. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกยางพาราธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก มีสัดส่วนการผลิตเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณการผลิตของโลก และส่งออกร้อยละ 47 ของปริมาณการส่งออกยางทั้งหมดของโลก รายได้จากการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบของไทยในปี 2547 มีมูลค่าถึง 136,704 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ความต้องการยางธรรมชาติเป็นความต้องการต่อเนื่อง (Derived demand) จากความต้องการใช้ในการผลิตยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออก ซึ่งมีมูลค่ารวมกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ส่งออกในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางอบแห้ง ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ

ขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นขั้นตอนหนึ่งคือ การทำให้ยางคงรูป ซึ่งการทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธี แต่การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด เพื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อน โดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสีเช่นเดียวกับการส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก ให้รังสีในช่วง 3 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี สามารถให้ความร้อนถึงเนื้อในวัตถุดิบ จะทำให้น้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยางร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการสั่นของโมเลกุลจึงให้ประสิทธิภาพการอบวัลคาไนซ์สูง การสูญเสียต่ำ ใช้เวลาน้อยกว่าความร้อนแบบทั่วไป 1 ถึง 10 เท่าและประหยัดไฟฟ้าได้ 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟและไม่เกิดไฟรั่ว

ดังนั้นการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดนั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาเพื่อความเป็นไปได้ว่าจะสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานและเวลาได้ ส่งผลให้กำลังผลิตเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

8. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มและทดสอบหาสภาวะเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุด
2. เพื่อการนำไปใช้งานเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
3. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

9. ทางเลือกและแนวทางแก้ปัญหา

ปัจจุบันถุมือยางกลายเป็นสินค้าที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้เลือกออกแบบ สร้าง และศึกษาเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยศึกษาเวลาในการอบวัลคาไนซ์ อุณหภูมิที่ใช้อบ ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ และคุณภาพที่ได้หลังการอบเพื่อเปรียบเทียบกับกรอบวัลคาไนซ์แบบลมร้อนที่ใช้กันอยู่ ซึ่งจะเป็นการลดระยะเวลา ลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และการอบวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรดยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ นอกจากจะช่วยยกระดับความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางได้แล้ว ยังเป็นการสนับสนุนเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นได้

10. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องต้นแบบการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
2. ทราบระบบการทำงานของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
3. สามารถพัฒนาเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มและนำไปใช้ได้จริงในระดับชุมชน

11. แนวทางการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
2. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดและแบบลมร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
3. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อน
4. บันทึกผลการทดลองเพื่อการตรวจสอบและปรับปรุงผล
5. วิเคราะห์ผลเพื่อนำไปใช้จริง

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

ในปัจจุบันโลกมีความต้องการยางธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง จากความต้องการในการใช้ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออก ซึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งในความต้องการจากผลิตภัณฑ์ยางเหล่านั้นคือ ถุงมือยาง ซึ่งปัจจุบันถุงมือยางกลายเป็นสินค้าที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมาก

ขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตยางขึ้นตอนหนึ่งคือ การวัลคาไนซ์ยาง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี แต่การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด และเปรียบเทียบกับวิธีการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและด้วยลมร้อนแบบอิสระ การอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดนั้นเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี เช่นเดียวกับการส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก ให้รังสีในช่วง 3 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี สามารถให้ความร้อนถึงเนื้อในของวัตถุดิบ โดยเฉพาะน้ำจะรับความร้อนได้ดีที่สุด น้ำที่เป็นส่วนประกอบของน้ำยางจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการสั่นของโมเลกุลจึงเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียต่ำ ประหยัดเวลาและประหยัดไฟฟ้าได้ อีกทั้งมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟและไม่เกิดไฟรั่ว

ส่วนการให้ความร้อนโดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนทั่วไปนั้น จะเป็นการพาความร้อนก่อนเมื่อผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้นจะเป็นการนำความร้อน โดยจะเป็นการส่งผ่านความร้อนไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้ขึ้นได้ เนื่องจากการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ถ้าเป็นการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดนั้น รังสีอินฟราเรดจะทำให้ น้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้น โอกาสที่ผิวหน้าของวัสดุจะเกิดการไหม้จึงมีน้อยมาก เหมาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่มีความบาง เช่นผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

ดังนั้นการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดนั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาเพื่อความเป็นไปได้ว่าจะสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานและเวลาได้ ส่งผลให้กำลังผลิตเพิ่มขึ้น สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากจะช่วยยกระดับความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางได้แล้ว ยังเป็นการสนับสนุนเศรษฐกิจระดับชุมชนได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ลักษณะเดียวกันได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ถุงยางอนามัย และลูกโป่ง เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้าง และศึกษาเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยศึกษาการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่มีตัวแปรได้แก่ เวลาในการอบวัลคาไนซ์ อุณหภูมิภายในเครื่องอบที่ใช้อบ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์สำหรับการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด และทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงของถุงมือยางได้แก่ ความต้านทานแรงดึงและความยืด

เมื่อขาดหลังการอบวัลคาไนซ์ เพื่อเปรียบเทียบกับการอบวัลคาไนซ์อย่างด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและด้วยลมร้อนแบบอิสระ เมื่อทดสอบอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางขนาดกลางด้วยเครื่องอบวัลคาไนซ์อย่างด้วยอินฟราเรด โดยใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดสีเหลืองพื้นผ้าขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร และเวลาอบ 5, 10 และ 15 นาที ซึ่งระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร เมื่ออบวัลคาไนซ์ด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ ถุงมือจะสุกและถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย เช่นเดียวกับการอบวัลคาไนซ์อย่างด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่ความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ในขณะที่การอบวัลคาไนซ์อย่างด้วยลมร้อนแบบอิสระที่สภาวะเดียวกัน ด้วยอุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลามากกว่า 15 นาที และจากการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่ายภาพในห้องอบ พบว่า ถุงมือยางขณะที่อบวัลคาไนซ์อย่างด้วยรังสีอินฟราเรดมีอุณหภูมิสูงกว่าและสม่ำเสมอกว่าการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนทั้งสองแบบที่ตัวแปรต่าง ๆ เดียวกัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
หน้าสรุปโครงการ	ค
บทสรุปผู้บริหาร	ง
เนื้อหางานวิจัย	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
3. วิธีการ	22
4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล	30
5. สรุปผลการทดสอบ	43
6. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก ก.	47
ภาคผนวก ข.	71
ภาคผนวก ค.	81

เนื้อหางานวิจัย

1. บทนำ

ยางเป็นวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์ มีสมบัติเด่นคือความยืดหยุ่น จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Elastomers แต่ยังมีจุดอ่อนจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามอุณหภูมิคือ โมเลกุลขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ยางนิ่มลง และ โมเลกุลหดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำทำให้ยางแข็งขึ้น จึงไม่สามารถใช้งานได้นาน ในปี ค.ศ.1839 มีการค้นพบปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันโดย Charles Goodyear ทำให้ยางไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างตามอุณหภูมิ และมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นกว่าเดิมมาก จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เริ่มมีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางในระดับอุตสาหกรรม และมีการศึกษาค้นคว้าอย่างต่อเนื่องในส่วนที่เกี่ยวกับสารเคมีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางให้เหมาะสมกับการใช้งานได้มากขึ้น

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกยางพาราธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก มีสัดส่วนการผลิตเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณการผลิตของโลก และส่งออกร้อยละ 47 ของปริมาณการส่งออกยางทั้งหมดของโลก รายได้จากการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบของไทยในปี 2547 มีมูลค่าถึง 136,704 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ความต้องการยางธรรมชาติเป็นความต้องการต่อเนื่อง จากความต้องการใช้ในการผลิตยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออก ซึ่งมีมูลค่ารวมกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ส่งออกในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางอบแห้ง ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ

ขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นขั้นตอนหนึ่งคือ การทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อน ซึ่งการทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อนโดยทั่ว ๆ ไปมักเป็นการอบวัลคาไนซ์แบบลมร้อน แต่การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด เพื่อเปรียบเทียบกับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อน โดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสีเช่นเดียวการส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก ให้รังสีในช่วง 3 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี สามารถให้ความร้อนถึงเนื้อในวัตถุดิบจะทำให้น้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยางร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการสั่นของโมเลกุลจึงให้ประสิทธิภาพการอบวัลคาไนซ์สูง การสูญเสียต่ำ ใช้เวลาน้อยกว่าความร้อนแบบทั่วไป 1 ถึง 10 เท่าและประหยัดไฟฟ้าได้ 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟและไม่เกิดไฟรั่ว

ส่วนการให้ความร้อนโดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบปกตินั้น จะเกิดการพาความร้อนก่อน เมื่อผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้นจะเป็นการนำความร้อน โดยจะเป็นการส่งผ่านความร้อนไปสู่

ภายในของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจทำให้ผิวหนังของผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้จากการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ถ้าเป็นการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดนั้น รังสีอินฟราเรดจะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้น โอกาสที่ผิวหนังของวัสดุจะเกิดการไหม้จึงมีน้อยมาก เหมาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่มีความบาง เช่น ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม จึงน่าจะเป็นไปได้ในการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในการอบวัลคาไนซ์

ปัจจุบันถุงมือยางกลายเป็นสินค้าที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้เลือกออกแบบ สร้าง และศึกษาเครื่องอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยเลือกศึกษาการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางเพื่อศึกษาเวลาในการอบวัลคาไนซ์ยาง อุณหภูมิที่ใช้อบวัลคาไนซ์ ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ และสมบัติที่ได้หลังการอบวัลคาไนซ์ เพื่อเทียบกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนที่ใช้กันอยู่ ซึ่งจะเป็นการลดระยะเวลา ลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยรังสีอินฟราเรดยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ นอกจากจะช่วยยกระดับความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางได้แล้ว ยังเป็นการสนับสนุนเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นได้

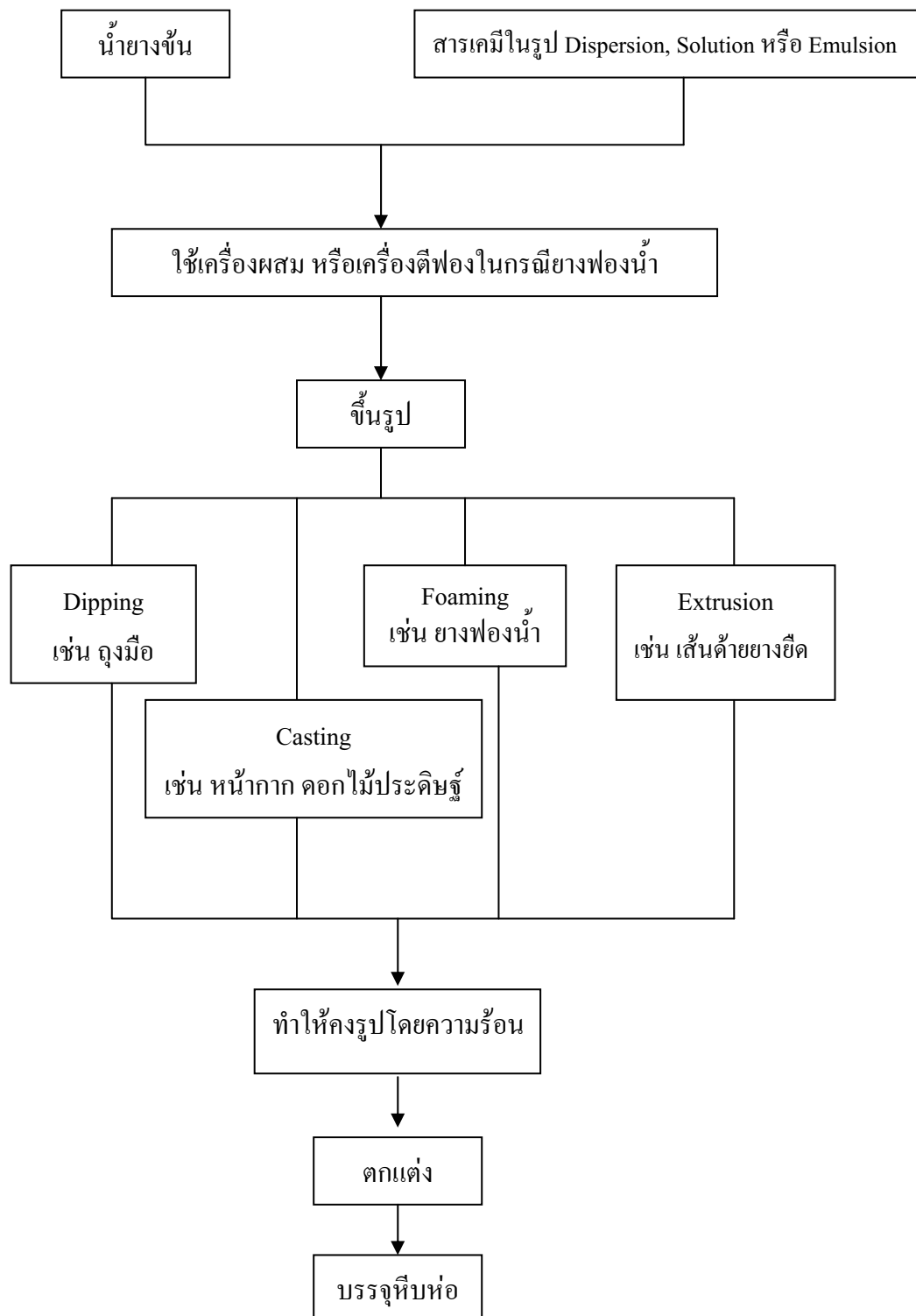
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ยาง

ผลิตภัณฑ์ยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบหลักหรือใช้ยางพาราเป็นส่วนประกอบ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางในระดับอุตสาหกรรมมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ การออกแบบสูตรและเทคนิคการผลิต ในการออกแบบสูตรต้องพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เป็นสำคัญ ส่วนเทคนิคการผลิตขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเลือกใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปและคงรูป ซึ่งต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย

ผลิตภัณฑ์ยางหลายอย่างจำเป็นต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศ เช่น ผลิตภัณฑ์ยางทางการแพทย์ ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ห้วนยาง กระเป๋าน้ำร้อนยาง ในปัจจุบันอุตสาหกรรมถุงมือยางมีการขยายตัวอย่างมาก จากเดิมที่ใช้เฉพาะในวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่นในทางการแพทย์ แต่ในปัจจุบันถุงมือยางกลายเป็นสินค้าที่มีความต้องการบริโภคมากอย่างหนึ่งที่สามารถป้องกันสิ่งสกปรกและเชื้อโรคได้

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น

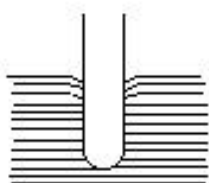
ภาพที่ 2.1 เป็นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น โดยนำน้ำยางข้นผสมกับสารเคมีในรูปคัสเปอร์ชัน (Dispersion) โซลูชัน (Solution) หรืออิมัลชัน (Emulsion) แล้วนำไปขึ้นรูป แต่สำหรับยางพองน้ำนั้นต้องใช้เครื่องผสมหรือเครื่องตีฟองเพื่อให้น้ำยางเกิดการแยกตัวก่อนแล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ และทำให้คงรูปด้วยการใช้ความร้อน หลังได้เป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นแล้วจะนำไปตกแต่งและบรรจุหีบห่อ

2.2 ถุงมือยาง

ถุงมือยาง เป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่ผลิตจากน้ำยางข้น ซึ่งในปัจจุบันถุงมือยางได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อการบริโภคเป็นอย่างมาก โดยมีกระบวนการทำถุงมือยางดังนี้

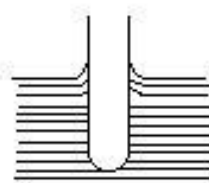
2.2.1 การเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี

การเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี จะนำสารเคมีที่บดแล้วซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 5 ไมครอน ใส่ลงในน้ำยางเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 16 ชั่วโมง กวนช้า ๆ เพื่อให้ฟองอากาศในน้ำยางลอยขึ้นขณะบ่ม หลังจากบ่มแล้ว ทำให้น้ำยางที่อุณหภูมิ 18 ถึง 20 องศาเซลเซียส กรองน้ำยางที่บ่มแล้วผ่านตะแกรงไนลอน (หรือเหล็กสแตนเลส) ขนาด 80 ถึง 100 เมช แล้วค่อยนำไปใช้ และต้องระวังอย่าให้อากาศเข้าไปในน้ำยางอีก โดยสูตรของน้ำยางที่ดีต้องมีความเหมาะสมของสารวัลคาไนซ์ ความทนทานต่อการใช้งาน ความเข้มข้นที่ดี ความเสถียรต่อการแปรรูป ความตึงผิว และความหนืด โดยภาพที่ 2.2 และ 2.3 แสดงลักษณะการวัดความตึงผิวของยาง



ภาพที่ 2.2 ความตึงผิวของยางสูงไปผิวยางจะเป็นชั้น ๆ อากาศอาจจะขังระหว่างชั้นได้

ที่มา: ดัดแปลงจากบุญธรรม. 2539.



ภาพที่ 2.3 น้ำยางความตึงผิวดำพอเหมาะ น้ำยางจะได้ขึ้นไปตามแบบขุบ

ที่มา: ดัดแปลงจากบุญธรรม. 2539.

2.2.2 การจุ่มแบบพิมพ์ลงในสารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant)

วิธีการในการจุ่มแบบพิมพ์มีอยู่ 3 วิธีคือ การจุ่มน้ำยางโดยตรง (Straight dipping) การจุ่มน้ำยางโดยใช้สารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant dipping) และการจุ่มน้ำยางโดยวิธีใช้ความร้อน (Heat sensitive dipping) ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจุ่มน้ำยางโดยการใช้สารช่วยให้น้ำยางจับตัว ซึ่งมีวิธีการคือ

นำแบบพิมพ์ที่สะอาด อุ่นให้ได้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มาจุ่มลงในสารละลายที่ช่วยในการจับตัวน้ำยางที่เรียกว่า Coagulant ซึ่งได้แก่ Calcium chloride, Calcium nitrate, Cyclohexylamine hydrochloride (CHA) และ Acetic acid ตามระดับที่ต้องการ แต่สารช่วยให้น้ำยางจับตัวที่นิยมใช้กันมากคือ แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) เนื่องจากจะให้ความหนาของถุงมือที่เหมาะสม แล้วยกแบบพิมพ์ขึ้น ด้วยความเร็วประมาณ 60 ถึง 70 เซนติเมตรต่อนาที พอถึงบริเวณง่ามนิ้วให้ยกช้ากว่านี้ โดยอัตราการยกให้มีความพอดีกับการไหลของสารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant) ที่ออกจากแบบพิมพ์ อย่าให้เหลือเป็นหยดติดอยู่ จากนั้นทำให้แห้งหมาด ๆ แล้วชุบลงในน้ำยางคอมปาวด์ ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งความหนาของยางที่ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ ความเข้มข้นของน้ำยาง ความเสถียรของน้ำยาง และระยะเวลาชุบ แล้วดึงขึ้นอย่างช้า ๆ วิธีนี้ใช้ในการทำถุงมือยางและถุงโป่ง โดยมีสูตรในการเตรียมสารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant) คือ

	ส่วนโดยน้ำหนัก
Calcium chloride หรือ Calcium nitrate	14 – 40
Wetting agent	0.2 – 0.3
สารตัวเติม ชนิดละเอียด	5 – 10
น้ำอุ่น และ IMS	50 – 80

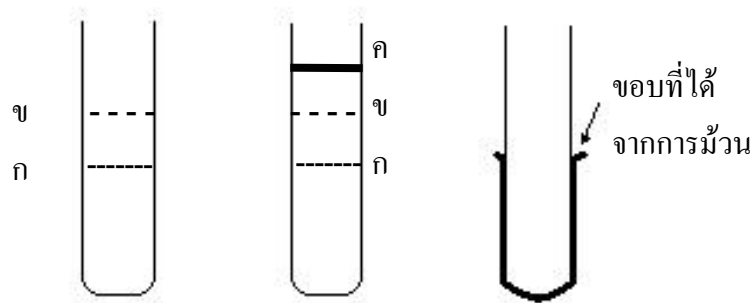
ถ้าใช้แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีปัญหาน้ำยางไม่ค่อยเกาะติด ซึ่งสารช่วยลดความตึงผิวของน้ำยาง (Wetting agent) ต้องเลือกชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคลอไรด์ได้แก่ Non-inorganic soap หรือ Cationic soap เป็นต้น สามารถทำให้น้ำยางแผ่กระจายปกคลุมแบบพิมพ์ได้มากกว่า

2.2.3 การจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยาง

การจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางคอมปาวด์มักทำด้วยความเร็วประมาณ 120 เซนติเมตรต่อนาที เมื่อถึงใกล้ง่ามนิ้วให้ลดความเร็วเป็น 100 เซนติเมตรต่อนาที พอพ้นง่ามนิ้วให้เพิ่มความเร็วเป็น 120 เซนติเมตรต่อนาทีเท่าเดิม ระยะลึกของการจุ่ม ให้เลยระดับสารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant) ประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วยกขึ้นทันทีประมาณ 3 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ผิวข้างที่จะม้วนขอบ

2.2.4 การม้วนขอบ

การม้วนขอบ เป็นการเพิ่มความหนาของยางบริเวณที่จะต้องสวมใส่หรือเป่าลม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ในบริเวณนั้น การม้วนขอบควรจะทำขณะที่ยางยังแห้งหมาด ถ้ายังเปียกอยู่จะยังม้วนไม่ได้ และถ้าแห้งเกินไปจะทำให้ม้วนไม่ติด ตัวอย่างการม้วนขอบแสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการม้วนขอบ

ที่มา: คัดแปลงจากบุญธรรม. 2539.

หลังจุ่มสารช่วยให้น้ำยางจับตัว (Coagulant) จะได้ตำแหน่ง ข (ภาพที่ 2.4) แล้วนำไปจุ่มน้ำยางที่มีปริมาณที่มากกว่าจะได้ระยะ ค (ภาพที่ 2.4) หลังผ่านการจุ่มน้ำยางแล้วให้ม้วนขอบก่อนนำไปอบ จะได้ระยะม้วนขอบที่ตำแหน่ง ก (ภาพที่ 2.4)

2.2.5 การตรวจสอบถุงมือยาง

การตรวจสอบถุงมือยางเป็นสิ่งจำเป็นต่อการผลิตและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางที่ได้อาจเกิดในขั้นตอนการวัลคาไนซ์ที่ไม่สมบูรณ์และนำไปสู่ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของโครงสร้างยาง เช่น การบวมตัวของชิ้นงาน การมีรูพรุน เป็นต้น และไม่ได้คุณสมบัติตามการใช้งาน เมื่อนำชิ้นงานไปใช้งานจึงเกิดการเสียหายและเป็นอันตรายต่อการใช้งาน จึงอาจจะตรวจสอบขั้นต้นด้วยการใช้ลมเป่าหรือตรวจสอบด้วยการใส่น้ำ เพื่อดูว่าถุงมือที่ได้มีรอยรั่วที่ใดบ้าง

2.3 การทำยางให้คงรูป

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ได้นำยางธรรมชาติมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น จุกหัวนมยาง ยางยานพาหนะ ยางสายพานลำเลียง ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย รองเท้า เป็นต้น เนื่องจากยางธรรมชาติมีคุณสมบัติทางความยืดหยุ่นสูง ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นกระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในสภาพคงรูปทรงได้ในลักษณะยืดหยุ่น โดยการใช้สารวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (Crosslink) ตรงตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยา บุญธรรม (2539) ได้อธิบายหลักการวัลคาไนซ์ไว้ดังนี้

2.3.1 การวัลคาไนซ์ (Vulcanized)

เป็นกระบวนการที่ทำให้ยางคงรูปทรง โดยให้เกิดการเชื่อมโยงในโมเลกุลของยาง (Crosslink) มีตัวแปรที่สำคัญ คือใช้สารเคมีและอุณหภูมิที่ใช้การวัลคาไนซ์ สารเคมีที่มักนิยมใช้คือกำมะถัน ส่วน

การใช้ความร้อนเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิสูงนั้นจะใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์สั้นและที่อุณหภูมิต่ำระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะนาน ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาจะเร็วขึ้นเป็นสองเท่า แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ยางถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย อุณหภูมิที่นิยมใช้คือ 120 ถึง 140 องศาเซลเซียส

2.3.2 การวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน

ยางธรรมชาติสามารถทำให้คงรูปได้ด้วยการวัลคาไนซ์ระบบต่าง ๆ ซึ่งระบบหนึ่งที่นิยมใช้คือระบบกำมะถัน ซึ่งใช้กำมะถันผสมเข้าไปในน้ำยาง น้ำยางที่ผ่านการผสมกำมะถันแล้วจะมีการเชื่อมต่อโมเลกุลกันระหว่างโมเลกุล (Crosslink) เมื่อนำยางมาให้ความร้อนจะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นซึ่งทำให้ยางมีสมบัติที่ดีขึ้นได้แก่ เมื่ออุณหภูมิสูงยางจะไม่เกิดการเหลวและเมื่ออุณหภูมิต่ำยางจะไม่แข็ง อีกทั้งยังไม่มีกลิ่นและไม่เหนียว เป็นต้น ส่วนสมบัติของยางบางประการเช่น ความต้านทานแรงดึง ความแข็งแรง โมดูลัส และ Elongation at break เป็นต้น ซึ่งสมบัติเหล่านี้มักเปลี่ยนแปลงไปตามระบบการวัลคาไนซ์

2.3.3 อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์

การวัลคาไนซ์มีหลายแบบ และใช้อุณหภูมิต่างกันไปดังนี้

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

2.3.4 การวัลคาไนซ์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

การวัลคาไนซ์ยังสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม ได้แก่

ก. การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน (Hot Air Curing)

การวัลคาไนซ์ในอากาศร้อนมักมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้า ทำให้ระยะเวลาพักตัวก่อนการวัลคาไนซ์นานอาจทำให้ยางห้อยย้อยและเสียรูปได้ การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนมี 2 ลักษณะ คือ ชนิดที่ไม่มีควัน (ความดันเท่ากับบรรยากาศ) และชนิดที่มีความดัน

โดยกรณีที่ไม่มีความดันจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีผิวบาง เช่น ผลิตภัณฑ์ที่จะไม่ให้เกิดรูพรุน และผลิตภัณฑ์จากการจุ่มน้ำยาง ได้แก่ ถุงมือ ลูกโป่ง และถุงยางอนามัย เป็นต้น ซึ่งผิวของผลิตภัณฑ์จะเรียบเป็นมัน ส่วนกรณีที่มีความดันมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่หนาซึ่งจะต้องมีความดันเกิน 20 psi ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รองเท้าผ้าใบ และรองเท้าบูต เป็นต้น แต่การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนมีข้อเสีย คือ วัลคาไนซ์ช้า และผิวผลิตภัณฑ์อาจเหนียว อีกทั้งอากาศควรจะต้องมีการหมุนวนภายในเตา เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน

ข. การวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

การวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นกระบวนการทำงานที่เกิดความร้อนรวดเร็วและให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ อีกทั้งประหยัดพลังงานเนื่องจากการเกิดความร้อนที่รวดเร็ว แต่มักมีข้อเสียคือการลงทุนสูง คลื่นไมโครเวฟอบวัลคาไนซ์อย่างทั่วไปใช้ 2 ขนาด คือ 900 MHz และ 2450 MHz (บางแห่งใช้ 896 MHz และบางแห่งใช้ 915 MHz)

ค. การวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอยู่มากมายในชีวิตประจำวันโดยที่เรามองไม่เห็น เราเรียกคลื่นระดับต่าง ๆ ว่า สเปกตรัม (Spectrum) และแยกออกตามความถี่ของคลื่น โดยคลื่นที่ช่วงความถี่กว้างจะส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า แต่ก็มีแรงน้อย อำนาจทะลุทะลวงต่ำ

ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากใช้คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นตัวรับความร้อน กลไกในการส่งผ่านความร้อน จึงมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเวลาและพลังงานได้ดี เนื่องจากให้ความร้อนถึงเนื้อในได้ ช่วงความถี่ที่นิยมนำมาใช้ในการอบแห้งคือ รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ

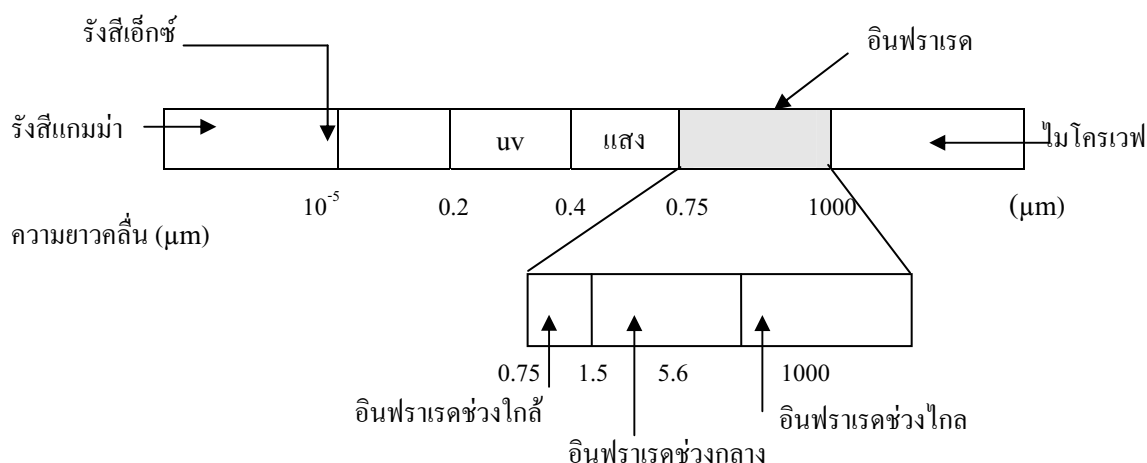
Sharma และ Prasad (2001) ได้ใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบกระเทียม ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลงประมาณร้อยละ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ดีกว่า

Hall (1962) สรุปทฤษฎีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดว่าสามารถอบได้รวดเร็วกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและเหมาะกับการอบแห้งแบบชั้นบาง ซึ่งรังสีจะดูดซับพลังงานด้วยอากาศและไอน้ำในอากาศเป็นอันดับแรกสำหรับรังสีอินฟราเรดที่ผลิตด้วยไฟฟ้า โดยการดูดซับความร้อนมีปัจจัยจากความยาวคลื่น ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด ผิวหน้าวัสดุ ความชื้น และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

2.4 การอบวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรด

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 นอกจากนี้ถ้าแบ่งตามช่วงความยาวคลื่นอาจจะแบ่งได้เป็นอินฟราเรดช่วงใกล้ อินฟราเรดช่วงกลาง (Medium infrared) และอินฟราเรดช่วงไกล ภาพที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของรังสีอินฟราเรดในสเปกตรัม

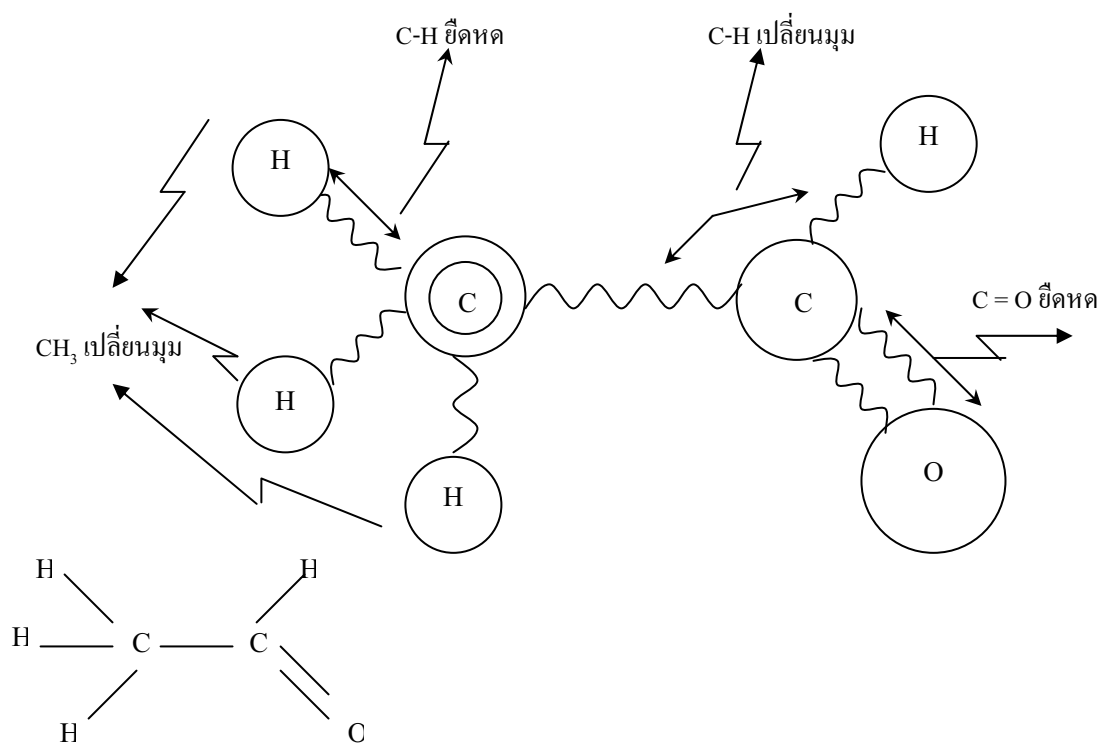


ภาพที่ 2.5 ตำแหน่งของรังสีอินฟราเรดในสเปกตรัม

ที่มา: โมโตกิ. 2543.

2.4.1 การสั้นของโมเลกุลและการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

โมเลกุลของสารโดยทั่วไปประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่าง ๆ ที่ยึดกันอยู่และมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา โดยโครงสร้างของโมเลกุลเหมือนกับลูกกลมยึดกันด้วยสปริง จะมีการเคลื่อนที่แบบยืด หด และเปลี่ยนมุม คาบของการสั่นมีผลจากโครงสร้างของโมเลกุลทั้งหมดด้วยไม่ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคมีเพียงอย่างเดียว เมื่อผ่านรังสีอินฟราเรดความถี่หนึ่งเข้าไปในโครงสร้างของโมเลกุล ถ้าความถี่นี้ไปตรงกับความถี่ของการยืดหดตัวของสปริง สปริงก็รับพลังงานนี้ไปและทำให้การสั่นรุนแรงขึ้น แต่ถ้าไม่มีความถี่ของรังสีอินฟราเรดอยู่ รังสีนั้นจะไม่ถูกดูดกลืนและไม่สามารถผ่านสารนั้นออกไปได้ การสั่นสะท้อนของสปริงทุกเส้นจึงมีผลจากการเคลื่อนไหวของสปริงเส้นที่เหลือ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเคลื่อนที่แบบยืดและหดและเปลี่ยนมุม

ที่มา: โมโตกิ. 2543.

2.4.2 ลักษณะพิเศษของฮีเตอร์อินฟราเรดช่วงไกล

ฮีเตอร์อินฟราเรดช่วงไกล (Far infrared heater) ใช้คุณสมบัติของโลหะที่ผ่านการเผาแล้วมาเคลือบบนผิวโลหะชนิดพิเศษที่ใช้เป็นตัวกำเนิดความร้อน ในการทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในแท่งความร้อน ออกไซด์จะดูดซับพลังงานความร้อนจากตัวนำความร้อนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นรังสีอินฟราเรดช่วงไกลในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ซึ่งใกล้เคียงหรือเท่ากับความยาวคลื่นการสั่นสะเทือน โมเลกุลของวัตถุ

เนื่องจากรังสีอินฟราเรดช่วงไกล มีความถี่ที่ตรงกับการสั่นของโมเลกุลของสารทำลายฟิสิกเมนต์และโพลิเมอร์ ซึ่งทำให้เกิดการสั่นแบบเรโซแนนซ์ที่รุนแรง ทำให้ได้ผลดีกว่ารังสีอินฟราเรดช่วงใกล้ที่ไม่สามารถทำได้

2.4.3 สมบัติของรังสีอินฟราเรดช่วงไกล

ก. การดูดกลืน

โดยทั่วไปสารจำพวกโพลิเมอร์หรือวัตถุที่มีโมเลกุลหนาแน่น เช่น เรซินชนิดต่าง ๆ สีทาน้ำมัน หมึกพิมพ์ ยางสังเคราะห์ น้ำ อาหาร ไขมันและไม้ จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีในช่วง 4 ถึง 50 ไมครอน ซึ่งตรงกับช่วงที่ฮีทเตอร์อินฟราเรดช่วงไกลให้รังสีออกมาจึงใช้ได้ดีเป็นอย่างมาก

ข. การสะท้อน

รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่มีลำแสงตรงนั้นจะสามารถอาศัยหลักการสะท้อนแสงมารวมรังสีเข้าสู่วัตถุที่ต้องการได้ง่าย โดยถ้าออกแบบแผ่นสะท้อนให้เป็นแบบพาราโบลาหรือรูปไข่ รังสีที่สะท้อนออกไปจะเป็นลำแสงขนานกันไปยังวัตถุที่จะรับความร้อน

โคมอะลูมิเนียมจะมีประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีอินฟราเรดดี แต่ถ้ามีก๊าซพวกที่ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ควรใช้แผ่นสเตนเลส ส่วนโคมสะท้อนรังสีรูปไข่มีประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีดีกว่าแบบเรียบถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำไปใช้ได้ตามความต้องการ

ค. การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

เนื่องจากความร้อนที่ได้จากรังสีอินฟราเรดช่วงไกลใช้จากการแผ่รังสี โดยมากถูกรบกวนจากอากาศที่อยู่ระหว่างกลาง รังสีจะเคลื่อนที่ตรงไปตกกระทบวัตถุแล้วทำให้เกิดความร้อนขึ้นในวัตถุ ดังนั้นตู้ที่ใช้จึงไม่ต้องปิดมิดชิด และไม่ทำให้อากาศรอบ ๆ ร้อนไปด้วย ผิววัตถุส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะไม่ร้อน จะต้องออกแบบการวางตำแหน่งฮีทเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อสามารถให้ความร้อนทั่วถึง และต้องออกแบบโคมให้สามารถกระจายรังสีไปได้ทุกทิศทางเมื่อวัตถุนั้นอยู่ภายใต้การแผ่รังสี

ง. ระยะห่างของการฉายรังสี

อุณหภูมิการให้ความร้อนจะแปรผกผันกับระยะห่างของการฉายแสง ยิ่งวัตถุอยู่ใกล้มาก ประสิทธิภาพการฉายรังสีก็จะมาก แต่หากอยู่ใกล้เกินไปอาจทำให้ความเข้มของรังสีไม่สม่ำเสมอและผิวของวัตถุที่ใช้อบเกิดไหม้ได้ โดยทั่วไปจะใช้ค่าระหว่าง 150 ถึง 400 มิลลิเมตร เป็นมาตรฐาน

ในกรณีที่วัตถุเป็นแผ่นเรียบและถูกส่งผ่านไปตามสายพานลำเลียง ไม่ต้องคำนึงความไม่สม่ำเสมอของความเข้ม เพราะอาจลดระยะห่างลง และเพิ่มความเร็วของสายพานลำเลียง จะเป็นการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์ทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 125 ถึง 150 มิลลิเมตร

การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งสำคัญคือตัววัตถุต้องดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้นวัตถุที่มีผิวมันวาวหรือมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี จะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนแบบอินฟราเรด

2.5 สมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการอบวัลคาไนซ์

บุญธรรม (2534) กล่าวว่ายางมีความสามารถที่จะยืดได้ยาวหลายเท่าตัว การใช้งานของยางอยู่ในรูปของการยืดมักจะเกิดน้อยครั้ง แต่สมบัติของยางในการยืดหรือดึงเป็นสมบัติพื้นฐานที่ใช้กันมานานในอุตสาหกรรมยางเพื่อแสดงคุณภาพของยาง เนื่องจากสมบัตินี้มักเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนปริมาณสารตัวเติม หรือกระบวนการผสมของน้ำยางและการใช้สารวัลคาไนซ์เปลี่ยนแปลงไป

2.5.1 ความต้านทานแรงดึงและความยืดของยาง

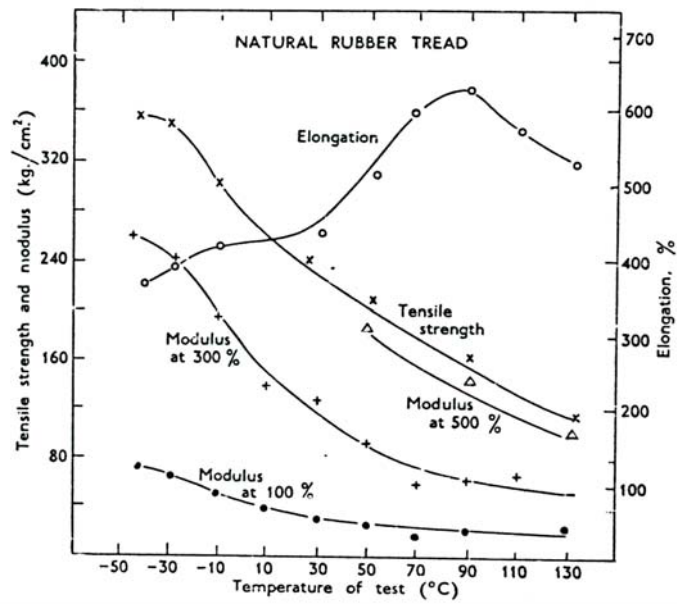
การดึงยางทำให้ยางยืดออกมาในลักษณะที่แรงที่ใช้ดึงกับความยืดไม่สัมพันธ์เป็นเส้นตรงกัน (เหมือนสมบัติของโลหะทั่ว ๆ ไป) การวัดโมดูลัสของยางจึงแตกต่างไปจากการวัดโมดูลัสของโลหะ โดยที่โมดูลัสของยางจะหมายถึง ความเครียด (Strain) ของยางที่ยืดออก 100%, 200% เป็นต้น

วิธีการทดสอบโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ตามลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ วิธีการทดสอบแบบตัวอย่างเป็นรูปวงแหวนที่ตัดจากแผ่นยางและวิธีการทดสอบแบบตัวอย่างเป็นรูปคัมเบล (Dumb - bell) ตรง

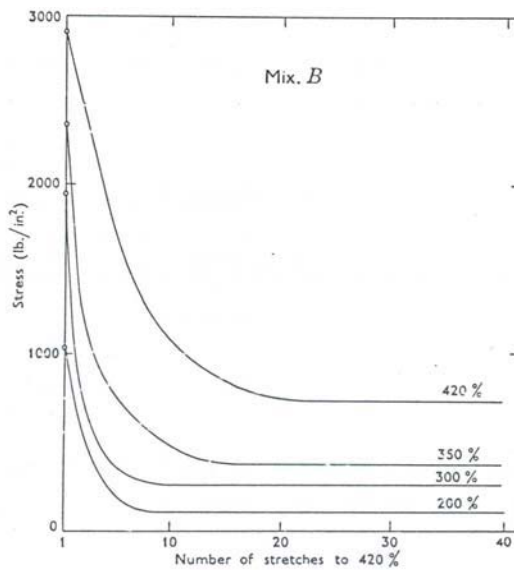
วิธีการทดสอบแบบตัวอย่างเป็นรูปคัมเบล (Dumb - bell) ตรง มักวัดค่าความต้านทานแรงดึง โมดูลัส และความสามารถในการยืดจนขาด โดยทำกับตัวอย่างของยางที่ไม่ผ่านการยืดล่วงหน้ามาก่อน ซึ่งค่าความต้านทานต่อแรงดึงและโมดูลัสขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของยางตอนเริ่มต้น ส่วนการวัดค่า Tensile set จะกระทำหลังจากที่ได้นำตัวอย่างยางมายืดและปล่อยกลับ หรือใช้ผลจากการยืดจนขาดมาคำนวณ

2.5.2 ข้อสำคัญของการทดสอบ

ค่า Tensile ของยางขึ้นอยู่กับลักษณะของยางและสภาวะของการทดสอบ ได้แก่ อัตราความเร็วในการยืด อุณหภูมิ ความชื้น ลักษณะและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ และสภาวะแวดล้อมของการทดสอบ ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติในการทดสอบ และจากภาพที่ 2.8 พบว่า ลูกโป่งที่เป่าให้ขยายตัวก่อนแล้วจะเป่าให้ขยายตัวได้ง่าย



ภาพที่ 2.7 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติของยาง
ที่มา: บุญธรรม. 2534.



ภาพที่ 2.8 ผลของการยืดยางก่อนทดสอบต่อแรงที่ใช้ยืดยาง
ที่มา: บุญธรรม. 2534.

2.5.3 นิยาม

ความยืด Elongation คือ การเพิ่มความยาวของยางอันเนื่องมาจากการดึง

ความยืดขาด Ultimate elongation หรือ Elongation at break คือ ความยืดของยางในขณะที่ยาง

ขาด

Tensile set คือ การเพิ่มความยาวของยาง ภายหลังการยืด และตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาที่กำหนด ค่าที่แสดงเป็นร้อยละของความยาวเดิม

Tensile stress คือ แรงต่อพื้นที่หน้าตัดเดิมที่ใช้ในการยืดยาง

Tensile strength คือ ความเค้นสูงสุดที่ใช้ยืดยางจนขาด

Tensile stress (หรือ modulus) at given elongation คือ Stress ที่ต้องใช้ในการยืดยางจนได้ความยืดที่ต้องการ

Set after break คือ ค่า Tensile set ของยางที่ดึงจนขาด

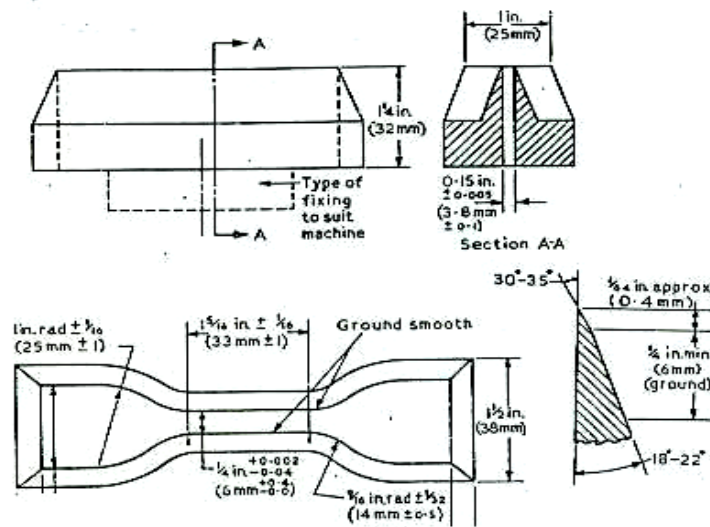
2.5.4 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสมบัติการทนทานต่อการยืด

ก. เครื่องดึง การทดสอบการดึงยางจะต้องใช้เครื่องมือที่สามารถดึงยาง โดยให้ที่จับยางนั้นเคลื่อนที่ออกจากกัน ด้วยความเร็วสม่ำเสมอเท่ากับ 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างสูงสุดของยางที่จับยางจะต้องไม่น้อยกว่า 750 มิลลิเมตร เครื่องดึงจะต้องสามารถวัดแรงให้ถูกต้องโดยผิดพลาดไม่เกิน ± 2 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องแสดงค่าแรงสูงสุดในการดึงจนขาดได้ เครื่องดึงควรมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความยืดของยาง (Extensometer) ได้ทุก ๆ ความยืดของยาง 10 เปอร์เซ็นต์

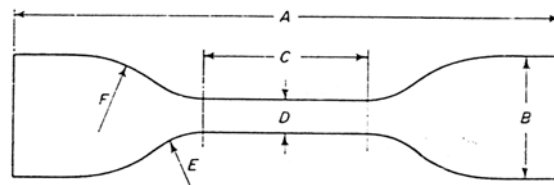
ข. เครื่องมือวัดความหนา เครื่องไมโครมิเตอร์แบบเป็นกลม สามารถวัดได้ละเอียดถูกต้อง ± 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว)

ค. อุปกรณ์สำหรับวัด Tensile set นอกจากจะมีเครื่องมือดังที่กล่าวมาแล้ว จะต้องมีนาฬิกาจับเวลาหรืออุปกรณ์อื่นที่สามารถบอกเวลาเป็นนาทีเดียวอย่างน้อยที่สุด 30 นาที จะต้องมีเครื่องมือวัด Tensile set ที่ถูกต้อง ผิดพลาดไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

ง. แบบที่ใช้ตัดยาง (Die) จะต้องคม ไม่มีรอยบิ่นเพื่อป้องกันไม่ให้ขอบยางที่ตัดเป็นริ้ว ด้านในของ die ในส่วนที่ลดขนาดเพื่อตัด จะขัดและจัดให้ตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจากคมมีดที่ตัด die ซึ่ง die ตามมาตรฐาน ISO 37-1977 (E) จะมีลักษณะเป็น Dumb - bell รูปร่างได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.9 และ 2.10 และขนาดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.9 ลักษณะตัวอย่างของ Die ที่ใช้ในการตัดยาง
ที่มา: บุญธรรม. 2534.



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างยางทดสอบรูป Dumb-bell
ที่มา: บุญธรรม. 2534.

ตารางที่ 2.1 ขนาดของตัวอย่างยางทดสอบ

ขนาด	Type 1	Type 2	Type 3
	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร
A - ความยาวทั้งหมด	115	75	35
B - ความกว้างปลาย	25±1	12.5±1.0	6±0.5
C - ความยาวส่วนคอดที่ขนาน	33±2	25±1	12±0.5
D - ความกว้างส่วนที่คอดขนาน	6.0±0.4	4.0±0.1	2±0.1
E - Small radius	14±1	8.0±0.5	3±0.1
F - Large radius	25±2	12.5±1.0	3±0.1
ความหนา	2±0.2	2±0.2	1±0.1

ที่มา: บุญธรรม. 2534.

จ. ที่จับยาง (Grips) ควรจะเป็นแบบขันแน่นโดยอัตโนมัติ (Self tightening) และแรงกดจะต้องสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน เมื่อดึงยางแรงขึ้นแรงกดบนยางต้องมากขึ้นตามเพื่อกันยางหลุด และจะต้องทำให้ยางขาดในส่วนของยางที่คอดลดขนาดด้วย

2.5.5 การเลือกตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ก. เนื่องจากทิศทางหรือ Grain ของยางมีผลต่างค่า Stress - Strain ของยาง ดังนั้นควรตัดตัวอย่างยางตามแนวความยาวให้ขนานกับทิศทางของยาง

ข. การเลือกขนาดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ตัวอย่างยางยาวจะใช้ในกรณีที่ยางยึดได้น้อย เพื่อที่จะทำให้การวัดถูกต้องยิ่งขึ้น

2.5.6 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ก. ตัวอย่าง Dumb - bell ชิ้นยางที่ใช้ทดสอบ จะต้องแบน หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตรและไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ถ้าตัวอย่างยางได้มาจากชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ผิวยางควรเรียบ ไม่มีรอยขรุขระ เป็นต้น การตัดให้ตัดตามความยาวของ grain ต้องตัดให้ขาดในการกด 1 ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่ารอยตัดได้ผิวเรียบจริง

ข. การทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ นำตัวอย่างยางที่ได้ตัดเป็นรูป Dumb - bell มาวางให้เรียงกับพื้นแล้วขีดเส้น 2 เส้นให้เส้นนั้นตั้งฉากกับความยาวของ dumb - bell และเส้นดังกล่าวควรอยู่บริเวณตรงกลางของตัวอย่างยางด้วย สำหรับกรณีของ die type 1 ให้ระยะห่างระหว่าง 2 เส้นไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร (หรือ 1.00 ± 0.001 นิ้ว)

ค. การวัดความหนาของตัวอย่างยาง ให้วัดความหนาของยาง 3 แห่ง คือตรงกลางของตัวอย่าง และตรงปลายเลยรอยขีดทั้งสอง ให้ใช้ค่า Median ของความหนาที่วัดได้ดังกล่าว ถ้าตัวอย่างยางใดมีผลต่างของความหนาต่ำสุดและสูงสุดเกินกว่า 0.08 มิลลิเมตรแล้ว ไม่ให้ใช้ตัวอย่างนั้นทดสอบ ส่วนความกว้างของยางส่วนที่ทดสอบให้ถือเอาตัวเลขกำหนดของ die ในคอคอดของยางนั้น

2.5.7 วิธีการดึงยางทดสอบ

นำตัวอย่างยาง Dumb-bell นั้นมาใส่ในระหว่างที่จับ พยายามให้ตัวอย่างยางอยู่ตรงกลางของที่จับพอดี เพื่อให้แรงกระจายบนตัวอย่างยางอย่างสม่ำเสมอ ถ้าหากจับไม่สม่ำเสมอแล้วเวลาดึงยางจะเห็นว่า รอยขีดที่ขนานกันนั้น จะแยกออกไปไม่ขนานกัน จะทำให้ค่าสมบัติการดึง (Tensile properties) ของยางไม่ได้ค่าสูงสุดเท่าที่เป็นจริง ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้อัตราการที่ที่จับยางแยกจากกันเท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที เริ่มเดินเครื่อง บันทึกค่าแรงที่ใช้ดึงตามความยืดที่กำหนด ค่าแรงที่ดึงจนขาด และความยืดของยางในขณะที่ขาด โดยมีวิธีการคำนวณต่อไปนี้

ก. ค่า Tensile stress หรือ modulus คำนวณดังนี้

$$\text{Tensile stress} = F/A_1$$

โดยที่ F = แรงที่ใช้

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของยางขณะที่ไม่ได้ยืด

ค่า Tensile strength คำนวณโดยใช้แรง F เท่ากับแรงที่ยืดยางจนขาด ทั้งค่า tensile stress และ tensile strength ใช้หน่วยเป็น Mega Pascal หรือ pounds – force ต่อตารางนิ้ว

ข. ค่า Elongation คำนวณดังนี้

$$\text{Elongation \%} = \frac{100 \times (L - L_0)}{L_0}$$

โดยที่ L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืด

L_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

ค. ค่า Ultimate Elongation หรือ Elongation at break คำนวณโดยใช้ค่า L เท่ากับระยะห่างระหว่างขีดในขณะที่ยางขาดพอดี

2.5.8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ

อุณหภูมิมาตรฐานคือ 23 ± 2 องศาเซลเซียส แต่ถ้าทดสอบที่อุณหภูมิห้องต้องนำตัวอย่างยางมาไว้ในห้องทดสอบนั้นอย่างน้อย 10 นาที ถ้าความชื้นในอากาศมีผลต่อสมบัติของตัวอย่างยาง ให้รักษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ไว้เท่ากับ 50 ± 5 เปอร์เซ็นต์ และต้องตั้งยางทิ้งไว้ในห้องทดสอบดังกล่าว 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

อนึ่ง ความชื้นในอากาศ ปกติแล้วมีผลต่อค่าสมบัติ Tensile ของยางโดยทั่วไปน้อยมาก แต่ยางใดที่สมบัติเปลี่ยนแปลงมากเมื่อความชื้นเปลี่ยน การทดสอบยางจึงต้องควบคุมความชื้นด้วย นอกจากนั้นแรงที่ใช้ยืดของยางขึ้นอยู่กับยางที่ยืดมาก่อนด้วย ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบที่สภาวะเดียวกัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำรังสีอินฟราเรดไปใช้นั้นมักเกี่ยวกับการอบวัตถุดิบทางการเกษตร ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้กับยางพารา หรือการวัลคาไนซ์ยางนั้นยังไม่มีการศึกษา โดยตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมี ดังนี้

ชยากริต (2533) ได้พัฒนาการผลิตน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมาในระดับครึ่งละ 2 ถึง 3 ตัน โดยใช้เครื่องฉายรังสี น้ำยางที่พรีวัลคาไนซ์แล้วได้นำไปทดลองผลิตเป็นถุงมือยางใช้ในการแพทย์ที่โรงงานผลิตถุงมือยาง โดยวิธี Coagulant dipping เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ TSC 50 ถึง 52 เปอร์เซ็นต์ Partial dry 90 องศาเซลเซียส ล้างด้วยน้ำที่ 70 องศาเซลเซียส และอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส

วรารณ และ คณะ (2539) ศึกษาถุงมือยางเคลือบผ้าสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเทคนิคการจุ่มถุงมือผ้า (Dipping the fabric gloves) ประเภทผ้าฝ้าย และอาศัยสารช่วยให้ยางจับตัว โดยการทดลองจุ่มถุงมือผ้าลงในน้ำยางชั้นธรรมชาติที่ผสมสารเคมีโดยมีความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 60, 55, 50, 45 และ 40 เปอร์เซ็นต์ กับทดลองจุ่มถุงมือผ้าลงในสารช่วยให้ยางจับตัวที่ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ก่อน แล้วจึงจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เช่นกัน พบว่าถุงมือผ้าที่จุ่มลงในสารช่วยน้ำยางจับตัวเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ก่อน แล้วจึงจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ จะให้ถุงมือยางเคลือบผ้าที่มีความหนาพอเหมาะไม่หนาหรือบางเกินไป

กัมลาวณย์ (2544) ได้ทดสอบเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ของพอลิโพรไพลีนกับยางธรรมชาติอีพอกไซค์โดยกระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกซ์ โดยใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำการแปรชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้ คือ Epolene G-3003, Tamanol 500 และ PP-g-MA ที่เตรียมขึ้นเอง พบว่าสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ คือ PP-g-MA ซึ่งจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดสูงสุด หลังจากนั้นทำการแปรปริมาณ PP-g-MA เป็น 1, 4, 6, 10, 12, 15, 20, 25, 30 และ 40 % โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เหมาะสมคือ 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่าสมบัติทางฟิสิกส์เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิโพรไพลีนกับยางธรรมชาติอีพอกไซค์ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เท่ากับ 50/50 และ 60/40 เนื่องจากให้ความสามารถในการยืดสูงสุด เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของยาง ENR-20 จะให้ความสามารถในการยืดสูงสุด นอกจากนั้นพบว่าอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวและความต้านทานต่อตัวทำละลาย (ไอโซออกเทนผสมกับโทลูอีน และน้ำมันดีเซล) เพิ่มขึ้นตามปริมาณอีพอกไซค์ และจากลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้คุณภาพของยางคอมปาวด์ที่กระจายตัวในเฟสของพอลิโพรไพลีนมีขนาดเล็กลง

ศิศิโรตม์ และ คณะ (2545) ได้ออกแบบเครื่องอบเมล็ดและฝักพืชด้วยคลื่นอินฟราเรดสามารถลดความชื้นของฝักถั่วลิสงได้จริง โดยนำเอาฮีทเตอร์แบบอินฟราเรดมาใช้แทนฮีทเตอร์แบบบรรจุ ซึ่งตู้อบนี้สามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 199 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิที่ตั้งมีความเที่ยงตรงเมื่อเปรียบเทียบกับ

กับอุณหภูมิจริง จึงทำให้สามารถหาระยะเวลาที่แน่นอนในการลดความชื้นของผัก ส่วนการแผ่ความร้อนมีประสิทธิภาพที่ได้ดีกว่าและความร้อนที่ได้นั้นเป็นความร้อนชนิดเดียวกับแสงแดดจึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและดูบ่มนี้มีความปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

สมชาติ (2547) ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบถึงจลนศาสตร์การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด สมบัติทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้งด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด และพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด

ณัฐพงศ์ และ คณะ (2548) ศึกษาหลักการแห้งของฟองยางธรรมชาติ ซึ่งกลไกการอบแห้งประกอบด้วย 2 กระบวนการพื้นฐาน คือ การถ่ายเทมวลสารและการถ่ายเทความร้อนในวัตถุซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกัน ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาการอบแห้งด้วยการใส่น้ำลงในฟองยางธรรมชาติที่วัดคาบในซึ้งแล้วตามปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ต้องการ และแปรปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกล่าวคือ ความหนาของฟองยาง ขนาดของฟองยาง ความหนาแน่นของฟองยาง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าการใช้ระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เช่น คลื่นไมโครเวฟเปลี่ยนแปลงการแห้งไปอย่างสิ้นเชิง โดยการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการถ่ายเทมวลสาร การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้อย่างมาก

เพชรสุรางค์ และ ศิริพร (2547) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยคลื่นอินฟราเรด และหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมโดยการใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรด 4 แบบ คือ แบบหลอดพร้อมโคมสะท้อนรังสีขนาด 400 วัตต์ และแบบเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัสพื้นผิวสีดำขนาด 800 วัตต์ อย่างละ 2 ชุด และแบบแผ่นความร้อนพื้นผิวเคลือบด้วยเซรามิกสีขาวขนาด 1.6 กิโลวัตต์

Mongpraneet และ คณะ (2002) ศึกษาการอบแห้งใบห้วหอมด้วยรังสีอินฟราเรดช่วงไกลภายใต้การนำความร้อนแบบสุญญากาศ ระดับความรุนแรงของการแผ่รังสีมีผลกระทบกับอัตราการอบแห้งและคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมาก ถ้าให้ a^* เป็นห้วหอมที่นำกลับไปทำแห้งใหม่ และ L^* และ ΔE_{ab}^* เป็นห้วหอมที่ระเหยแล้ว ช่วงการอบแห้งเพิ่มขึ้น ช่วงการอบแห้งคงที่ และช่วงการอบแห้งลดลงถูกใช้เป็นสาเหตุสู่พฤติกรรมรอบแห้ง การแผ่รังสียังให้ผลกระทบที่น่าสังเกตบนตัวเก็บคลอโรฟิลล์อีกด้วย การอบแห้งเป็นเวลานานและใช้อุณหภูมิที่สูงอาจช่วยทำให้คุณสมบัติการทำแห้งสั้นลง

Umesh และ คณะ (2004) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับพืชผัก ซึ่งการรวมเอารังสีอินฟราเรดเข้ากับลมร้อนเป็นประโยชน์ต่อการเคลื่อนไหวในกระบวนการอาหารอย่างยิ่ง ด้วยห้องอบ 3 ห้องโดยระบบถูกออกแบบให้ทำงานด้วยการอบแห้งด้วยอินฟราเรดช่วง

กลาง การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จากการศึกษาการอบแห้งแครอทและมันฝรั่งแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิคู่ออบ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิร้อน 40 องศาเซลเซียสช่วยลดเวลาการอบแห้งได้ 48 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดพลังงานได้ 63 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งแบบอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนยังได้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดอย่างเดียว ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบของการอบแห้งแครอทและมันฝรั่งมีค่า 38 เปอร์เซ็นต์

2.7 ทฤษฎีการออกแบบ

หลักในการออกแบบเครื่องอบวัสดุในชั่งที่สำคัญนั้น ต้องพิจารณาถึงสมบัติและส่วนผสมของวัตถุหรือวัสดุที่จะนำมาอบวัสดุในชั่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบสมบัติการอบวัสดุในชั่งของวัสดุแต่ละประเภทแตกต่างกันไป สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการออกแบบเครื่องอบวัสดุในชั่งนอกจากความสามารถให้การอบวัสดุในชั่งและโครงสร้างของเครื่องอบวัสดุในชั่งคือ การเลือกขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบวัสดุในชั่ง (เรียวโซ, 2529)

2.7.1 การออกแบบฮีตเตอร์

ค่าความชื้น

$$M_w = \frac{(w - d) \times 100}{w} \text{ (มาตรฐานเปียก)} \quad \dots (1)$$

$$M_w = \frac{(w - d) \times 100}{d} \text{ (มาตรฐานแห้ง)} \quad \dots (2)$$

w คือ น้ำหนักก่อนอบวัสดุในชั่ง

d คือ น้ำหนักหลังอบวัสดุในชั่ง

ความร้อนสัมผัส (Sensible heat)

$$Q_s = Mc_{pg} \Delta T \quad \dots (3)$$

ความร้อนแฝง (Latent heat) ของการกลายเป็นไอ

$$Q_L = M_w h_{fg} \quad \dots (4)$$

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

c_{pg} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของผลผลิต, กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน

M คือ มวลของผลิตภัณฑ์สดที่ต้องการอบแห้ง, กิโลกรัม

M_w คือ มวลของน้ำที่ต้องการเอาออก, กิโลกรัม

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิในการอบแห้งและอุณหภูมิห้อง, องศาเซลเซียส

$$\text{Total energy required} = Q_s + Q_L \quad \dots (5)$$

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer)

เป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสงและสามารถเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างๆได้ แต่ต่างกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆที่ความยาวคลื่น

จำนวนพลังงานที่ส่งออกขึ้นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์และลักษณะผิว วัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุดำ แต่ที่อุณหภูมิเท่ากันวัตถุสามารถแผ่รังสีในอัตราส่วนคงที่กับวัตถุดำได้ทุกความยาวคลื่น ความสามารถในการดูดรังสีของวัตถุโดยย่อเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีอัตราการแผ่รังสี (สุรนันท์, 2538) สามารถหาได้จาก

$$q_r = \sigma \varepsilon A T^4 \quad \dots (6)$$

q_r = อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี, วัตต์

A = พื้นที่ผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน, ตารางเมตร

T = อุณหภูมิผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน, องศาเซลเซียส

σ = ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ มีค่า 5.67×10^{-8} , วัตต์ต่อตารางเมตร.องศาเซลเซียสกำลังสี่

ε = ค่าการแผ่รังสี (emittance) ของวัตถุ

3. วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการอบวัลคาไนซ์ด้วยมือยางด้วยอินฟราเรด การอบวัลคาไนซ์ด้วยมือยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ และการอบวัลคาไนซ์ด้วยมือยางด้วยลมร้อนแบบอิสระ โดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศนั้นได้ใช้เครื่องอบของบริษัท เทคนิคคอลเทรค จำกัด ที่ความเร็วลมภายในเครื่องอบ 1 เมตรต่อวินาที การอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ใช้เครื่องอบของบริษัท Memmert จำกัด ส่วนการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบขึ้น เพื่อศึกษาสถานะและเงื่อนไขต่าง ๆ ของการอบวัลคาไนซ์ด้วย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์มีดังนี้

3.1 การเตรียมน้ำยาง สารช่วยให้น้ำยางจับตัว และแบบพิมพ์ถุงมือยาง

ในการทดสอบนี้ใช้แบบพิมพ์ขนาดกลาง (เบอร์ M) ที่ทำจากเซรามิกเป็นแบบพิมพ์สำหรับจุ่มน้ำยาง โดยมีวิธีการเตรียมน้ำยาง สารช่วยให้น้ำยางจับตัว และแบบพิมพ์ โดยสังเขปดังนี้

3.1.1 เตรียมน้ำยางตามสูตรให้มีความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปกรองเพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำยางและสิ่งเจือปนที่มองไม่เห็น โดยน้ำยางนี้หลังทำการผสมแล้วต้องวางทิ้งไว้ในห้องทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนทำการจุ่ม เพื่อให้ฟองอากาศที่อยู่ภายในน้ำยางลอยขึ้นมาบนผิวหน้าแล้วจึงตัดออก เนื่องจากฟองอากาศจะทำให้เกิดรูบนถุงมือยางได้

สูตรน้ำยาง

น้ำยางชั้น 60%	K ⁺ oleate
ZDC	KOH
Zho	กำมะถัน
CPL	แม่สี

3.1.2 เตรียมสารช่วยให้น้ำยางจับตัวเพื่อช่วยให้น้ำยางเกาะแบบพิมพ์อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแบบพิมพ์ในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ Calcium chloride น้ำสบู่ และน้ำ ผสมสารให้เข้ากันตามอัตราส่วน โดยให้ Calcium chloride มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

3.1.3 นำแบบพิมพ์ที่สะอาดแล้วไปอุ่นให้แบบพิมพ์แห้งหมาดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-3 นาที แล้วจุ่มลงในสารช่วยให้น้ำยางจับตัวเป็นเวลา 5 วินาที แล้วทำให้แห้งหมาดโดยการหมุนจำนวน 10 รอบแล้วอุ่น 2-3 นาที

3.1.4 นำแบบพิมพ์ที่แห้งมาจากข้อ 3.1.3 จุ่มน้ำยางเป็นเวลา 5 วินาที หมุนแบบพิมพ์อย่างช้า ๆ ในแนวนอน 5 รอบ และในแนวตั้ง 5 รอบ เพื่อให้มีน้ำยางมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแบบพิมพ์และไม่ให้มีหยดน้ำยางติด แล้วจึงนำไปอบวัลคาไนซ์ในเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดและแบบลมร้อนทั้งสองแบบข้างต้น

3.2 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางและหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อการเปรียบเทียบกับกระบวนการอบวัลคาไนซ์ที่ใช้อยู่และเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาขั้นต่อไป จึงมีการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดต้นแบบ ผลการศึกษามีดังนี้

3.2.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดความร้อน

สำหรับการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรด ได้ศึกษาฮีเตอร์อินฟราเรด 2 แบบ คือ ฮีเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 800 วัตต์และฮีเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดเซรามิกขนาด 800 วัตต์ โดยใช้เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (สุเนตรและคณะ, 2548) ที่มีอยู่แล้ว ได้ผลสรุปคือ ฮีเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัสเหมาะกับการอบแบบถาดมากกว่า เนื่องจากมีการกระจายความร้อนตามลักษณะของฮีเตอร์อินฟราเรดคือกระจายความร้อนเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนฮีเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดเซรามิกนั้นแม้จะมีความเหมาะสมกับการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางเพราะแบบพิมพ์มีลักษณะเดียวกันคือเป็นแนวตั้ง แต่เนื่องจากลักษณะฮีเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดเป็นทรงกลมทำให้เกิดการกระจายความร้อนออกไปยังด้านหลังซึ่งรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกไปจะกระจายชนกับคอมสที่อนรังสีแล้วตกกระทบกับแบบพิมพ์ในตำแหน่งซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการอบวัลคาไนซ์ จึงเลือกใช้ฮีเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถส่งผ่านรังสีตกกระทบกับแบบพิมพ์ได้โดยตรงพอดี ดังภาพที่ ก.2 ในภาคผนวก ก

3.2.2 อุณหภูมิอากาศร้อนภายในเครื่องอบ

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนด้วยฮีเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 800 วัตต์และฮีเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดเซรามิกขนาด 800 วัตต์ โดยทำการทดสอบอบที่อุณหภูมิ 60, 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ได้ผลว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 30 เซนติเมตรในเวลา 15 นาทีนี้ ไม่สามารถทำให้ถุงมือยางสุกได้ ดังนั้นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงจะไม่นำมาทำการทดสอบเพื่อหาสภาวะของเครื่องอบวัลคาไนซ์ยาง ส่วนการอบวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียสนั้นสามารถทำให้ถุงมือยางสุกได้ จึงจะทำการศึกษา ณ อุณหภูมิเหล่านี้

3.2.3 ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์

ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่ได้พิจารณานี้ได้แก่ระยะ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เซนติเมตร โดยเมื่ออบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะที่นำมาทดสอบสามารถทำให้ยางสุกได้ ยกเว้นที่ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 5 เซนติเมตรที่ทำให้ถุงมือยางเกือบไหม้ ส่วนที่ระยะห่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10, 15, 20, 25 และ 30 เซนติเมตร สามารถทำให้ยางสุกได้เช่นกัน แต่ในการเลือกใช้งานจริงควรคำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย ดังนั้นที่ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10 ถึง 20 เซนติเมตร จึงน่าจะมีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบ เนื่องจากที่ระยะ 25 และ 30 เซนติเมตรทำให้ยางสุกได้ใกล้เคียงกันในเวลาที่เท่ากัน

3.2.4 เวลาในการอบวัลคาไนซ์ยาง

เวลาในการอบวัลคาไนซ์ยางได้เลือกศึกษาที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถให้รังสีได้โดยตรงซึ่งหากใช้ระยะเวลาที่นานกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้ยางเกิดการไหม้ได้

3.3 การออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่ออกแบบ ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด ระบบระบายอากาศ แท่นวางแบบพิมพ์ ระบบควบคุม และ โครงสร้างเครื่องอบ โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

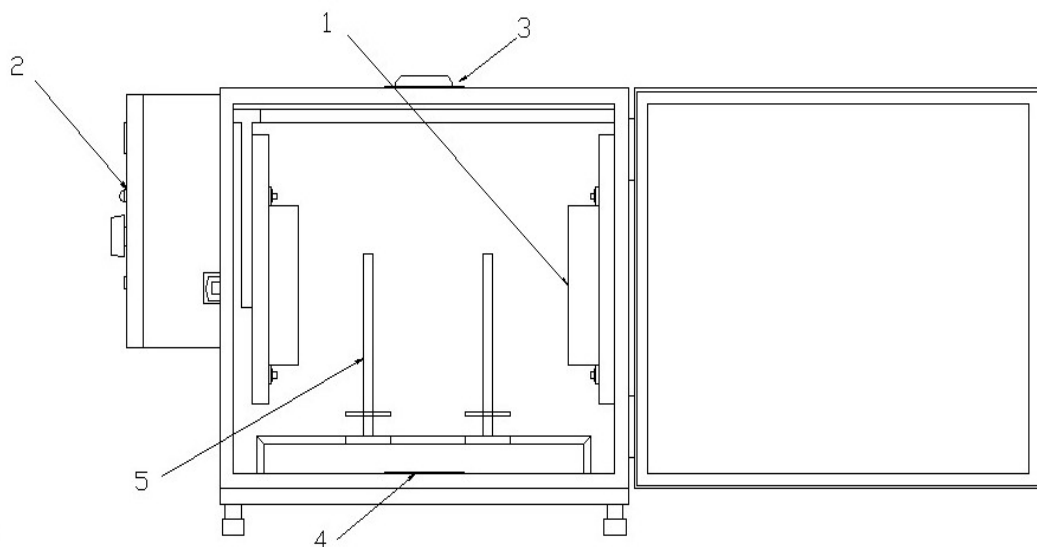
3.3.1 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด

เครื่องให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดมีหลายประเภท แต่งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบไฟฟ้าให้ความร้อนจากการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านแท่งความร้อนซึ่งมีความต้านทานสูง เคลือบผิวหน้าด้วยเซรามิกดำ เพื่อให้การแผ่พลังงานความร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึงและติดตั้งคู่กับคอมสเกทอนรังสีเพื่อทำให้งานรังสีตกลงบนวัตถุที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเครื่องให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (ฮีเตอร์อินฟราเรด) และคอมสเกทอนรังสีนี้ถูกติดตั้งไว้ด้านข้างคู่ทั้งสองข้างในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยข้างหนึ่งจะกำหนดให้ติดตั้งไว้บนรางเลื่อนสแตนด์เลสที่ทำงานโดยเฉพาะ ที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ตามระยะทดสอบที่ต้องการ ส่วนฮีเตอร์อินฟราเรดอีกข้างหนึ่งจะติดตั้งไว้ในลักษณะยึดอยู่กับที่

โดยแหล่งกำเนิดความร้อนนี้ สามารถทนความร้อนได้อย่างดีเนื่องจากทำขึ้นจากเซรามิกชนิดพิเศษ ที่มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการกระจายรังสีสูง สามารถถ่ายความร้อนได้เร็วและสม่ำเสมอตลอดความยาวแท่ง รวมถึงไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว โดยโครงสร้างภายในถูกออกแบบให้มีโพรงช่องว่าง ซึ่งป้องกันมิให้ความร้อนแผ่กระจายออกไปด้านหลัง ดังนั้นพลังงานความร้อนทั้งหมดจะ

กระจายไปด้านหน้าด้านเดียว ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการความร้อนสูงและต้องกระจายความร้อนให้ทั่วถึงเท่า ๆ กันบนพื้นที่ผิววัสดุที่ต้องการอบ

คอมสเตอร์รังสีอินฟราเรดได้เลือกแบบที่ทำขึ้นจากอลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีได้สูง เพื่อให้รังสีอินฟราเรดสะท้อนไปยังแบบพิมพ์ได้มากขึ้น ที่ตัวคอมสเตอร์รังสียังประกอบไปด้วยเครื่องป้องกันและฝาครอบที่ทำด้วยเซรามิกจะช่วยป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าขณะทำการอบวัลคาไนซ์ได้ ตำแหน่งการติดตั้งฮีตเตอร์แสดงในภาพที่ 3.1



1. ฮีตเตอร์อินฟราเรด
2. ระบบควบคุม
3. ช่องระบายอากาศ
4. ช่องลมเข้าจากเครื่องเป่าลมร้อน
5. แผ่นวางแม่พิมพ์ถุงมือยาง

ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ต่างๆ

3.3.2 ระบบระบายอากาศ

ในกระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปความชื้นจะถูกลดปริมาณออกจากผลิตภัณฑ์แล้วจะกระจายทั่วห้องอบแห้ง การระบายอากาศร้อนขึ้นจึงมีความจำเป็นเพื่อระบายความชื้นออกจากระบบ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบ เนื่องจากอากาศร้อนขึ้นมีแนวโน้มเคลื่อนสู่ที่สูง จึงได้ออกแบบให้มีช่องระบายอากาศที่ด้านบนของเครื่องอบโดยสามารถปรับความกว้างของช่องระบายอากาศได้ด้วยแผ่นกั้น (Damper)

3.3.3 ระบบควบคุม

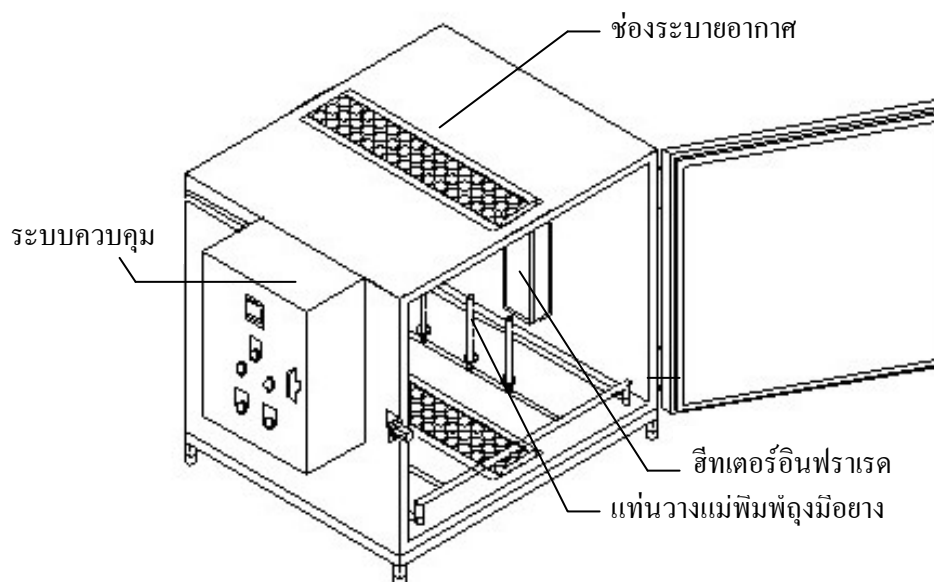
ระบบควบคุมประกอบไปด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เช่น เซอร์อุณหภูมิตัว และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน ระบบจะแสดงค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบซึ่งถูกวัดด้วยตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ค่าอุณหภูมินี้สามารถปรับระดับอุณหภูมิได้ตามความต้องการและความเหมาะสมในการอบ

3.3.4 แท่นวางแบบพิมพ์

ภายในเครื่องอบจะมีแท่นวางแบบพิมพ์ที่ทำขึ้นโดยเฉพาะจากท่อสแตนเลสเพื่อใช้เสียบแบบพิมพ์ ซึ่งแท่นนี้สามารถปรับระดับได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้งได้ ตามระยะห่างที่ต้องการศึกษาและต้องการอบวัลคาไนซ์

3.3.5 โครงสร้างของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

โครงสร้างของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบนี้ประกอบขึ้นเป็นลักษณะตู้สี่เหลี่ยมด้วยการพับแผ่นเหล็ก โดยออกแบบให้มีความกว้าง ความยาวและความสูงในระยาะที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ด้วยซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ตัวเครื่องอบวัลคาไนซ์มีการป้องกันความร้อนกระจายออกสู่ภายนอกด้วยการใช้ฉนวนกันความร้อนจำนวน 2 ชั้นในช่องระหว่างแผ่นเหล็กภายนอกกับแผ่นสแตนเลสภายในเครื่องอบวัลคาไนซ์ (รวมส่วนของประตูเปิด-ปิด) เนื่องจากอาจเกิดการกักความร้อนจากไอน้ำหรือความชื้นที่ระเหยออกมาได้ นอกจากนี้ยังออกแบบให้มีความสูงจากพื้นเพื่อให้มีการระบายอากาศได้สะดวกเมื่อทำการอบวัลคาไนซ์ รูปร่างภายนอกของโครงสร้างเครื่องอบแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

3.4 การทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

ในการทดสอบนี้จะใช้แบบพิมพ์ขนาดกลางเป็นแบบพิมพ์ในการจุ่มน้ำยาง โดยมีตัวแปรต้นที่ศึกษาได้แก่ รูปแบบการอบวัลคาไนซ์ 3 แบบ คือ การอบวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรด การอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ และการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ มีตัวแปรต่าง ๆ ที่จะศึกษาซึ่งได้เลือกจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางแล้ว ดังนี้

3.4.1 การศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนภายในเครื่องอบ

อุณหภูมิอากาศร้อนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการอบวัลคาไนซ์ เพื่อเลือกอุณหภูมิอากาศร้อนที่เหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง ศึกษาอุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบ 3 ระดับได้แก่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส

3.4.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

การอบวัลคาไนซ์ที่ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าและคุณสมบัติหลังการอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี จะถูกพิจารณาเป็นทางเลือกเพื่อเลือกชนิดในการอบวัลคาไนซ์ ดังนั้นเพื่อเลือกเวลาที่เหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางจึงทดสอบที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที

3.4.3 การศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์

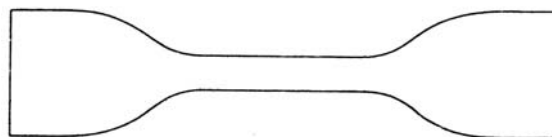
ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับวัตถุที่จะอบเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอบวัลคาไนซ์ยาง เพื่อเลือกระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่เหมาะสม จึงเลือกอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางตามหัวข้อ 3.2 ที่ระยะคือ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ส่วนการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ และการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยลมร้อนแบบอิสระ จะทำการอบที่ระยะกึ่งกลางเครื่องอบโดยมีระยะเป็น 25 และ 27 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.4.4 การศึกษาการกระจายอุณหภูมิ

ในขณะทำการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางแบบต่าง ๆ ได้แก่ การอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด การอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ และการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ที่อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบระดับต่าง ๆ ได้แก่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด 10, 15 และ 20 เซนติเมตร เวลาในการอบวัลคาไนซ์ 5, 10 และ 15 นาที เพื่อศึกษาค่าความร้อนในบริเวณต่าง ๆ ด้วยการบันทึกภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Infrared Solutions รุ่น IR-FLEXCAM™-T เพื่อแสดงผลของการกระจายอุณหภูมิอากาศ

3.4.5 การทดสอบสมบัติของมือยางที่ได้หลังการอบวัลคาไนซ์ยาง

ถุงมือยางที่ผ่านการอบวัลคาไนซ์แล้วจะนำมาทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงคือ ความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาด โดยนำถุงมือยางที่มีผิวเรียบ ไม่มีรอยขรุขระ และรูพรุนจากฟองอากาศ มาเตรียมเป็นชิ้นทดสอบรูปคัมเบล (ดังภาพที่ 3.3) โดยตัดยางที่บริเวณฝ่ามือตามแนวความยาวขนานกับทิศทางของยางให้มีขนาดตาม Type 1 ในตารางที่ 2.1 วางชิ้นทดสอบในห้องทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ได้สภาพการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ก่อนทำการทดสอบต้องทำเครื่องหมาย gauge length บนชิ้นทดสอบ โดยวางชิ้นทดสอบบนเทมเพลตของอุปกรณ์สำหรับทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ (Specimen marking device) ดังภาพที่ ก.13 ในภาคผนวก ก แล้วทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงของวัสดุ ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z500 ใช้ที่จับยางขนาด 10 กิโลนิวตัน ด้วยความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ในระหว่างที่จับยางซึ่งเป็นแบบจันแน่นโดยอัตโนมัติ (Self tightening) ดังภาพที่ ก.15 พยายามให้ชิ้นทดสอบอยู่ตรงกลางของที่จับพอดี เพื่อให้แรงกระจายบนชิ้นทดสอบอย่างสม่ำเสมอ จึงเริ่มเดินเครื่องทดสอบการดึงยาง นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานถุงมือยาง แต่เนื่องจากข้อกำหนดมาตรฐานถุงมือยางมีหลายมาตรฐานได้แก่ มาตรฐานของ ASTM D3578 แบบ 1, ISO 11193-1 : 2002 และ มอก. 1056-2548 ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056-2548 โดยใช้เกณฑ์ของถุงมือประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นประเภทของถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ ก่อนบ่มเร่ง เพื่อเปรียบเทียบความยืดเมื่อขาด แสดงดังตารางที่ 3.2 และเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงกับมาตรฐานของ ASTM D3578 แบบ 1 ซึ่ง W.A. Rubbermate Co., Ltd. ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างชิ้นทดสอบรูปคัมเบล

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงดึง

คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ถุงมือประเภทที่ 1	ถุงมือประเภทที่ 2
แรงดึงเมื่อขาด ก่อนปั๊มแรง ต่ำสุด	N	7.0	7.0
ความยืดเมื่อขาด ก่อนปั๊มแรง ต่ำสุด	%	650	500
แรงดึงเมื่อขาด หลังปั๊มแรง ต่ำสุด	N	6.0	7.0
ความยืดเมื่อขาด หลังปั๊มแรง ต่ำสุด	%	500	400

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548.

ตารางที่ 3.2 ข้อกำหนดมาตรฐานถุงมือยาง ASTM D3578 แบบ 1 เทียบกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ถุงมือยางจากบริษัท W.A. Rubbermate Co., Ltd.

	W.A. Rubbermate Co., Ltd.	ASTM D3578 แบบ 1
Thickness - Single Wall (mm)		
Finger / Palm	Minimum 0.16 ± 0.03 mm	0.08 min
Finger Tip	Minimum 0.14 ± 0.03 mm	0.08 min
Cuff	Minimum 0.10 ± 0.02 mm	
Tensile Strength (MPa)		
Before Aging	Min 20	Min 14.0
After Aging	Min 18	Min 14.0
Elongation at break (%)		
Before Aging	Min 700	Min 650
After Aging	Min 650	Min 500

ที่มา: W.A. Rubbermate Co., Ltd. 2548.

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

การอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรด, การอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยลมร้อนร่วมกับการ บังคับอากาศ และการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยลมร้อนแบบอิสระ เมื่อศึกษาหาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผล ต่อการอบวัลคาไนซ์ยางซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อนภายในเครื่องอบ เวลาที่ใช้ในการอบวัลคา ไนซ์ยาง ระยะห่างของฮีทเตอร์อินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการ อบวัลคาไนซ์ยาง เพื่อทราบถึงสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดและ ด้วยลมร้อนของผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยมีผลการทดสอบและวิจารณ์ผลดังนี้

4.1 ผลการออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่ออกแบบได้แสดงใน ภาคผนวก ก. และงบประมาณในการสร้างแสดงในตารางที่ ก.1 มีส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะ เฉพาะ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ดังนี้

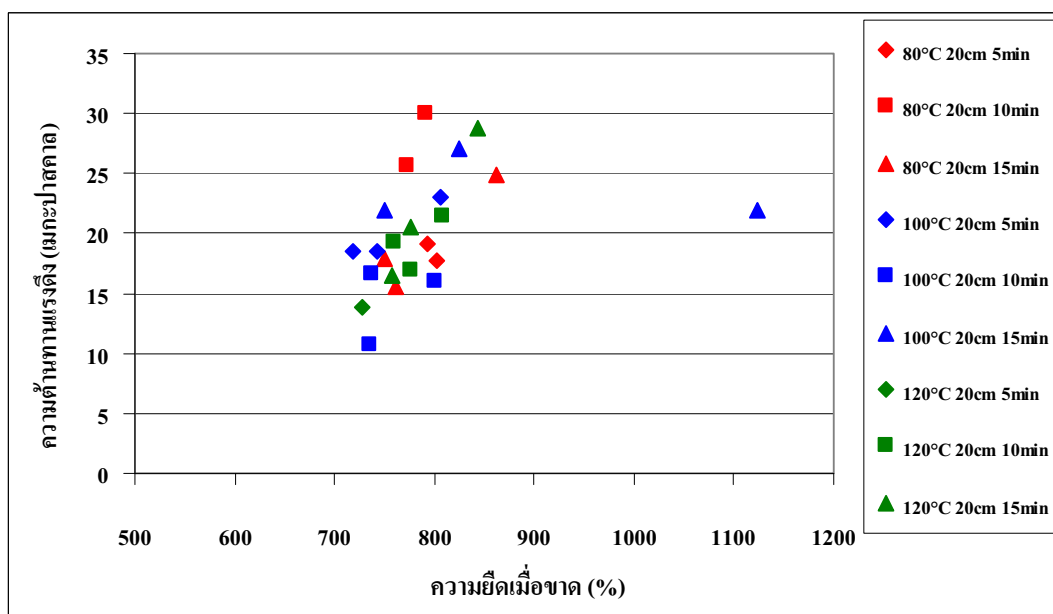
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะเฉพาะ
1. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด	ขดลวดความต้านทานสูงเคลือบผิวด้วยเซรามิกสีดำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบใช้ไฟฟ้าขนาด 6 x 24.5 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) กำลัง 1000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว โคมสะท้อนรังสีสเตนเลสขนาด 7 x 26 x 3 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x ลึก)
2. ระบบระบายอากาศ (ช่องระบายอากาศ)	แผ่นเหล็กขนาด 8 x 23 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) เส้นผ่านศูนย์กลางรู ระบายอากาศ 2.8 เซนติเมตร
3. ระบบควบคุมอุณหภูมิ	เครื่องควบคุมอุณหภูมิจี่ห้อ SHINKO รุ่น JCS
4. แท่นวางแบบพิมพ์และราง แขนฮีทเตอร์อินฟราเรด	ทำขึ้นจากท่อสเตนเลสขนาด 1.905 เซนติเมตร
5. โครงสร้างเครื่องอบวัลคา ไนซ์ยางแบบอินฟราเรด สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (ภายนอก)	แผ่นเหล็กขนาด 75 x 68 x 62 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x ลึก) ประกอบ เข้าด้วยกัน บุนนวดหนา 5.08 เซนติเมตร ภายในเครื่องอบใช้แผ่น สเตนเลส หนา 0.5 มิลลิเมตร และส่วนของขาตั้งสูง 5.08 เซนติเมตร

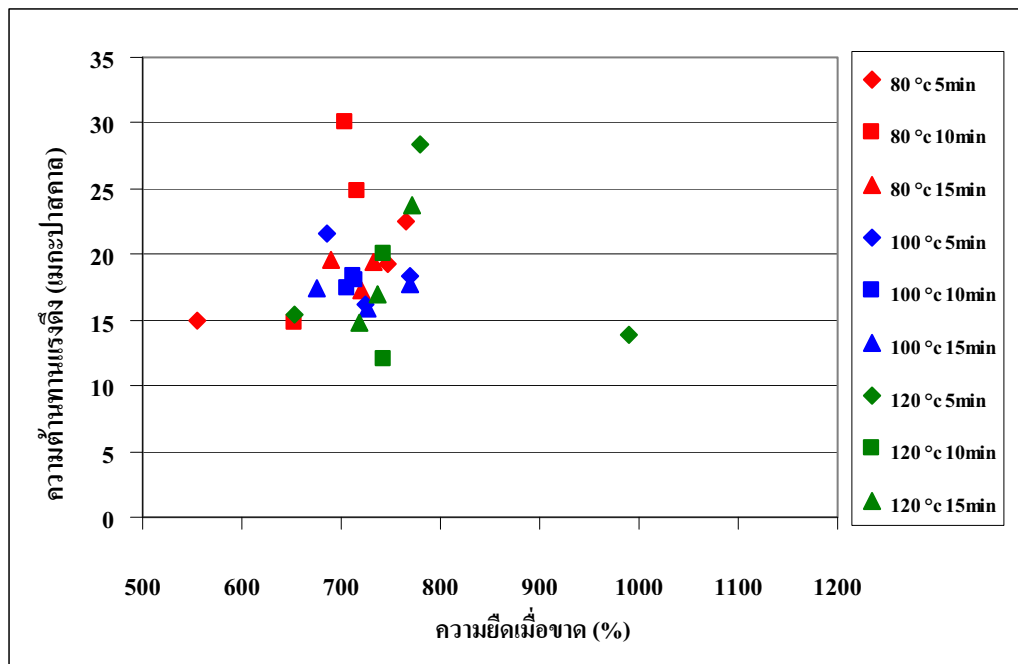
4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนและเวลาในการอบวัลคาไนซ์ยาง

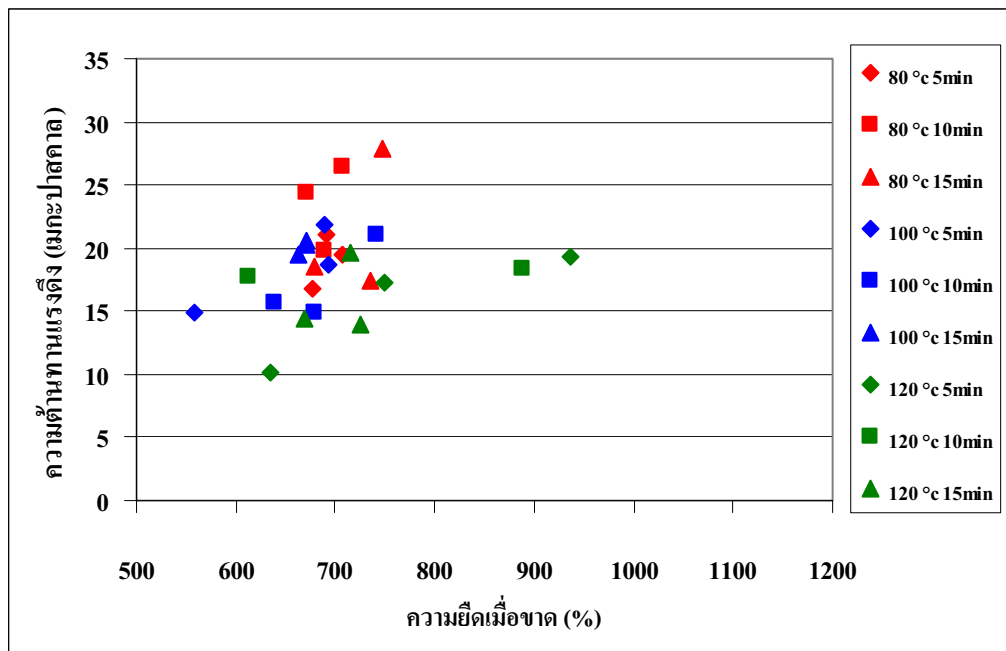
อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยางมีอย่างถูกต้องจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K โดยมีปลายสายเทอร์โมคัปเปิ้ลถูกติดตั้งบริเวณกลางฝ่ามือแบบพิมพ์ ส่วนปลายอีกด้านต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI 210 เพื่อบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แล้วแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และจากการทดสอบอบวัลคาไนซ์ยางมีอย่างถูกต้องที่อุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะเงื่อนไขการปฏิบัติงานและการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด ได้เตรียมน้ำยาง สารช่วยให้สีน้ำยางจับตัว และแบบพิมพ์ตามหัวข้อ 3.1 โดยมีผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 4.1 พบว่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด ที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ให้ผลอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันคือ ได้ความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วง 700 ถึง 850 เปอร์เซ็นต์และค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 15 ถึง 25 เมกะปาสคาล เมื่อเปรียบเทียบค่าความยืดเมื่อขาดที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมือสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056-2548 ตามตารางที่ 3.1 พบว่าความยืดเมื่อขาดได้ค่ามากกว่าที่มาตรฐานกำหนด คือ มีค่าไม่น้อยกว่า 650 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อเปรียบเทียบกับ ASTM D3578 แบบ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่าได้ค่ามากกว่าที่กำหนดคือ ไม่น้อยกว่า 14 เมกะปาสคาล



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร





ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ด้วย ลมร้อนแบบอิสระ ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับ แบบพิมพ์ 27 เซนติเมตร

ภาพที่ 4.3 จากการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 27 เซนติเมตร ได้ค่าความต้านทานแรงดึงกับความ ยืดเมื่อขาดในช่วง 15 ถึง 25 เมกะปาสคาล และ 650 ถึง 800 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยค่าที่ได้นี้เป็นค่าที่ มากกว่า มอก. 1056-2548 และ ASTM D3578 แบบ 1 ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2 ได้แสดงไว้คือ ค่าความ ต้านทานแรงดึงไม่น้อยกว่า 14 เมกะปาสคาล และความยืดเมื่อขาดไม่น้อยกว่า 650 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพผิวที่ฝ่ามือของถุงมือยางที่อบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดกลับให้ผลที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิโดยการวางสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่แบบพิมพ์บริเวณฝ่ามือ จึงทำให้อุณหภูมิที่แบบพิมพ์ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศร้อนภายในเครื่องอบมากกว่าการวางสายเทอร์โมคัปเปิ้ลไว้ระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ โดยถุงมือยางที่ผ่านการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ถุงมือยางยังไม่สุก เมื่อสัมผัสรู้สึกว่ายังมีความชื้นเหลืออยู่และถุงมือยางมีสีขาวใกล้เคียงกับน้ำยาง ส่วนถุงมือยางที่ผ่านการอบเป็นเวลา 10 นาทีนั้นมีความสุกมากกว่า เมื่อสังเกตสีของถุงมือยางพบว่ามีสีเข้มในบางตำแหน่งมากกว่าที่เวลา 5 นาทีเล็กน้อยและเมื่อพิจารณาการอบวัลคาไนซ์ที่เวลา 15 นาที สีของถุงมือยางมีสีเข้มเกือบเท่ากันทุกตำแหน่งและสุกมากกว่าเมื่อเทียบกับที่เวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

การอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ถุงมือยางที่ได้หลังการอบวัลคาไนซ์นาน 5 นาที เมื่อสัมผัสพบว่าสุกมากกว่าการอบวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที แต่ยังไม่สุกทั้งหมด เมื่อพิจารณาจากการถอดถุงมือยางออกจากแบบพิมพ์พบว่าถุงมือยางสามารถถอดออกได้ยากกว่า ส่วนที่เวลา 15 นาที พบว่าบางตำแหน่งของถุงมือยางเริ่มเกิดการพองตัวเพียงเล็กน้อย อีกทั้งถอดถุงมือยางออกจากแบบพิมพ์ได้ยากขึ้น อาจเนื่องมาจากถุงมือยางได้รับความร้อนสูงและเกิดการสุกมากขึ้น จึงทำให้ถุงมือยางหดตัวและเกิดการรัดตัวกับแบบพิมพ์ ส่วนสีของถุงมือยางนั้นมีความสม่ำเสมอทั้งมือ แต่ไม่สามารถแยกสีได้ชัดเจน เนื่องจากสามารถสังเกตสีของถุงมือยางได้เฉพาะตอนออกจากเครื่องอบเท่านั้น กล่าวคือถุงมือยางมีสีเข้มเฉพาะตอนอบเท่านั้นซึ่งหลังจากวางทิ้งไว้ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรง สีที่ได้จะเท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาจากการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที ถุงมือยางเริ่มสุก ส่วนที่เวลาอบวัลคาไนซ์ 10 และ 15 นาที ถุงมือยางเริ่มเกิดการพองตัว

ในการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศได้ถุงมือยางที่ใกล้เคียงกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด คือ ถุงมือยางมีลักษณะการสุกที่เวลาและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน

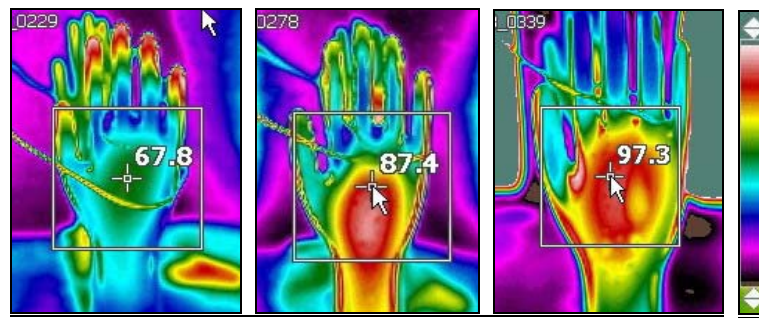
ส่วนการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระนั้น พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ถุงมือยางยังไม่สุกจากการวัลคาไนซ์ที่ไม่พอเพียง ส่วนที่ 120 องศาเซลเซียสอบนาน 15 นาที ถุงมือยางจึงเริ่มสุกแต่ยังคงมีความชื้นเหลืออยู่

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด ได้ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Infrared Solutions รุ่น IR-FLEXCAM™-T ภาพที่ ก.18 ในภาคผนวก เมื่ออบวัลคาไนซ์ด้วยอุณหภูมิอากาศ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 5, 10 และ 15 นาที ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ในการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและด้วยลมร้อนแบบอิสระเป็น 25 และ 27 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.4 ถึง 4.6 เป็นภาพตัวอย่างที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของมือยางบนแบบพิมพ์ในเวลาอบและการอบวัลคาไนซ์แบบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อนำอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ ก.7-ก.9 ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งให้เห็นว่าเวลาและอุณหภูมิในการอบวัลคาไนซ์มีค่าแปรผันตรงซึ่งกันและกันกับการกระจายความร้อน กล่าวคือ เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลานานขึ้น อุณหภูมิของมือยางบนแบบพิมพ์ก็มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยบริเวณที่รับความร้อนของมือยางทั้งหมดจะอยู่ตั้งแต่ปลายนิ้วมือ (P0) จนถึงข้อมือ (P2)

ในการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่เวลา 5 นาทีของทุกอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ พบว่าตำแหน่งกลางฝ่ามือ (P1) มีอุณหภูมิสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการได้รับรังสีโดยตรง เมื่อเวลาอบวัลคาไนซ์ผ่านไปทีบริเวณปลายนิ้วมือ (P0) มีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากปลายนิ้วมือของมือยางได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามเวลา อีกทั้งพื้นที่ในการรับความร้อนมีน้อย ความร้อนจึงสะสมในจำนวนที่มากกว่า ส่วนการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระนั้น ที่บริเวณปลายนิ้วมือ (P0) มีอุณหภูมิสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากบริเวณปลายนิ้วมืออยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความร้อนด้านเพดานตู้ ดังนั้นเมื่อแบบพิมพ์ได้รับความร้อนอุณหภูมิบริเวณปลายนิ้วมือจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ส่วนการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ พบว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มเกือบคงที่ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการได้รับอากาศร้อนที่มีความเร็วลมที่สม่ำเสมอคือ 1 เมตรต่อวินาที

เมื่อเปรียบเทียบการอบวัลคาไนซ์ทั้งสามแบบ พบว่าการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที มีเส้นกราฟการกระจายอุณหภูมิที่คล้ายกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ โดยที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียสเวลา 5 และ 10 นาที มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศมากกว่า ส่วนการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 10 นาทีนั้น มือยางมีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อพิจารณาการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิของมือยางใกล้เคียงกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด แต่ที่อุณหภูมิอากาศ 100 และ 120 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิของมือยางต่ำกว่า

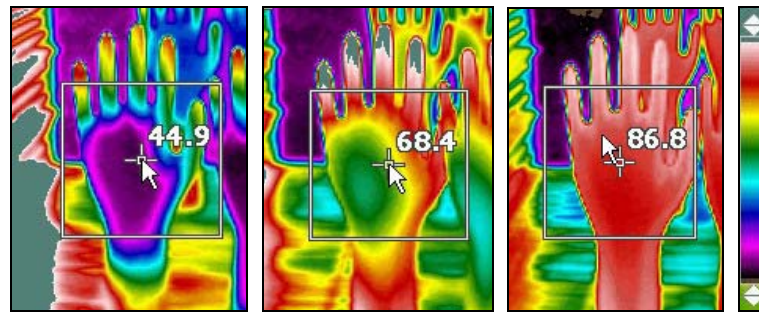


(ก) 5 นาที

(ข) 10 นาที

(ค) 15 นาที

ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด ในเวลาอบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 25 เซนติเมตร

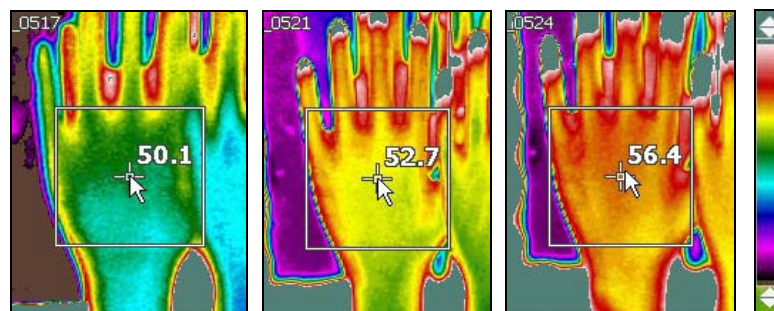


(ก) 5 นาที

(ข) 10 นาที

(ค) 15 นาที

ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในเวลาต่าง ๆ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 25 เซนติเมตร



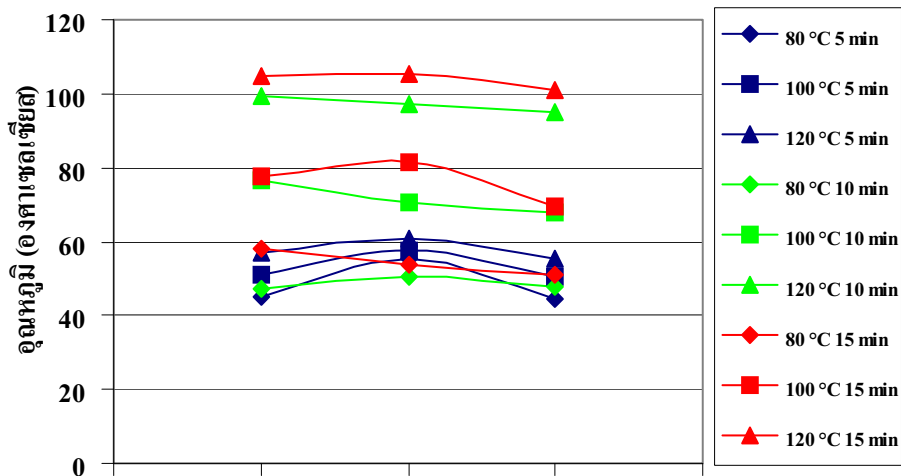
(ก) 5 นาที

(ข) 10 นาที

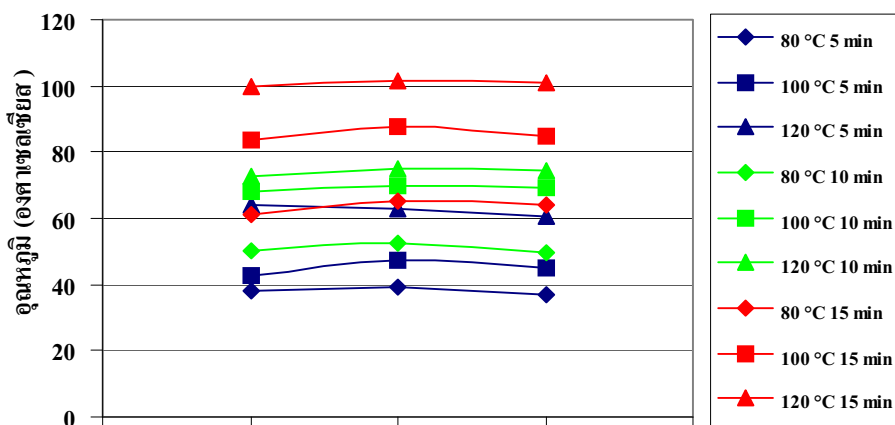
(ค) 15 นาที

ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในเวลาอบต่าง ๆ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 27 เซนติเมตร

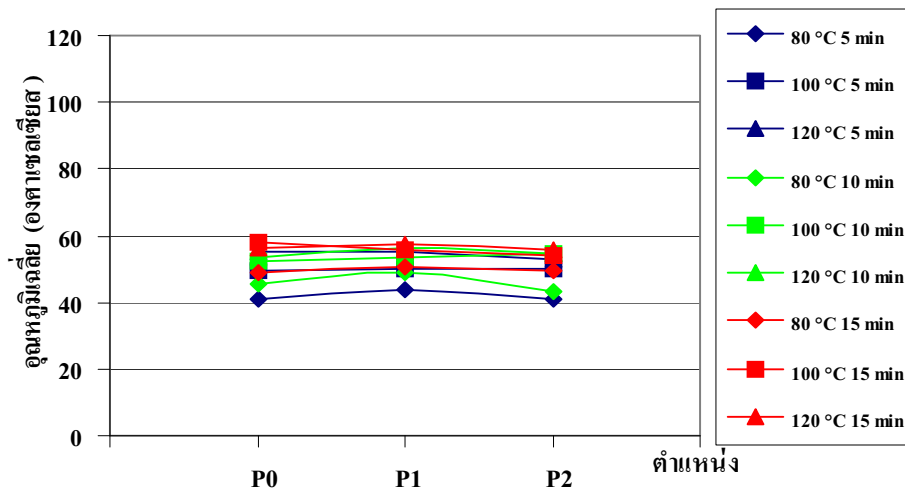
(ก) การอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด



(ข) การอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ



(ค) การอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ

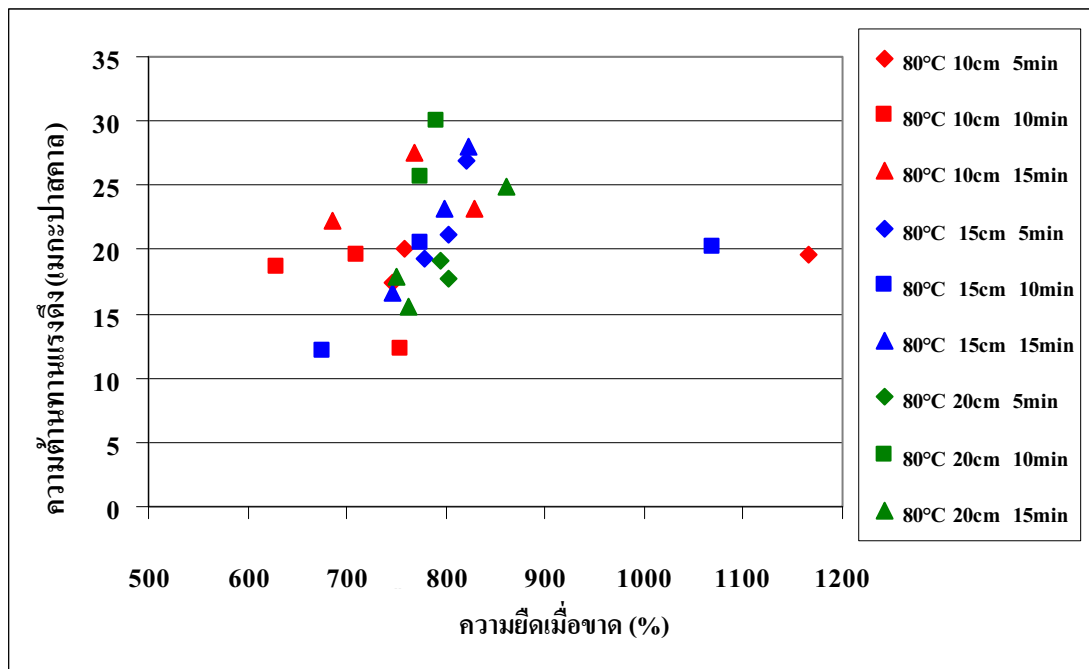


ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์แบบต่าง ๆ

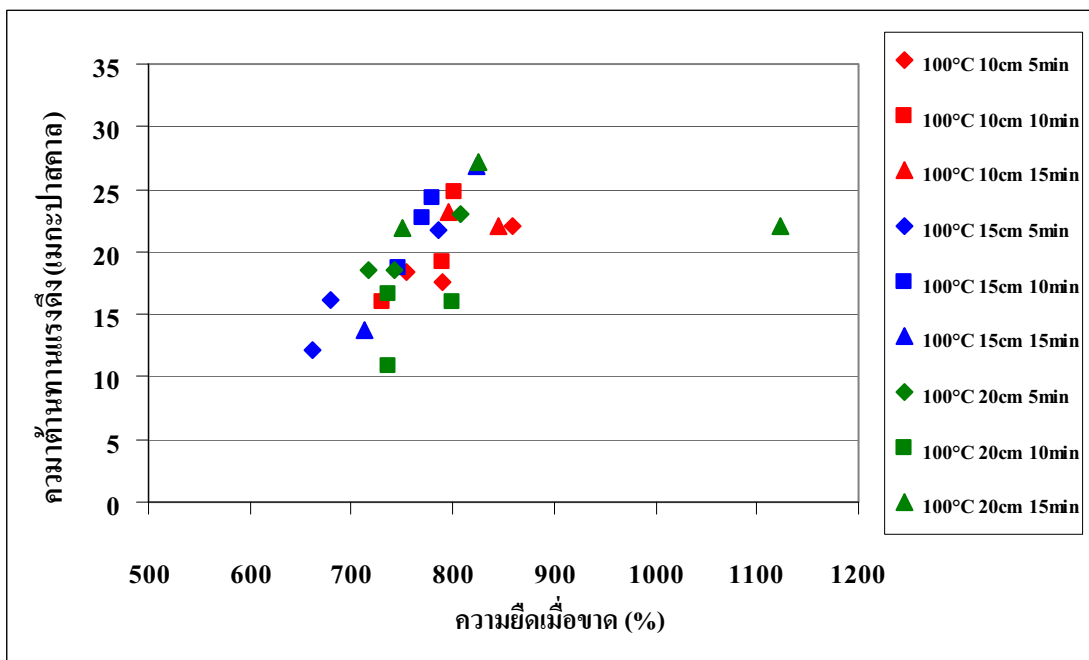
4.3 ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์

สำหรับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดนั้น ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์มีผลต่อการให้และการรับรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นของอินฟราเรด เมื่อแบบพิมพ์อยู่ใกล้ฮีเตอร์อินฟราเรดมากประสิทธิภาพการรับรังสีจากฮีเตอร์อินฟราเรดก็จะมาก แต่การอยู่ใกล้ฮีเตอร์อินฟราเรดมากเกินไปอาจทำให้ถุงมือยางได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งมือ ซึ่งการให้ความร้อนแบบอินฟราเรดนั้นตัวผลิตภัณฑ์ต้องดูดซับรังสีได้ดี โดยการดูดซับพลังงานความร้อนของน้ำยางจะขึ้นกับอุณหภูมิของฮีเตอร์อินฟราเรดที่เป็นแหล่งความร้อนและความยาวคลื่นความร้อนที่ให้ออกมา โดยน้ำยางจะดูดซับได้ไม่เท่ากันที่แต่ละความยาวคลื่น และความร้อนบางส่วนจะถูกดูดซับจากน้ำในอากาศที่อยู่รอบแบบพิมพ์ได้

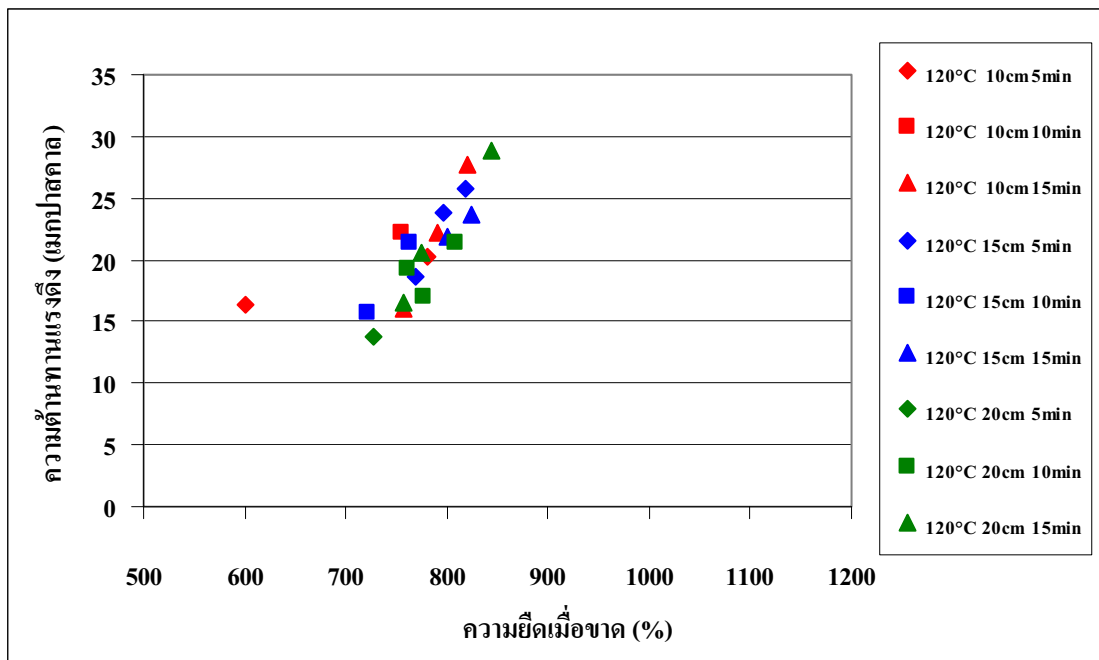
เมื่อพิจารณาการยืดตัวสูงสุดขณะขาดดังภาพที่ 4.8 ถึง 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดที่ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่ระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการทดสอบที่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการอบ 5 ถึง 15 นาที จากกราฟพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วงค่าเดียวกันคือ ช่วง 15 ถึง 25 เมกะปาสคาล และช่วง 650 ถึง 850 เปอร์เซ็นต์ และค่าที่ได้ทั้งสองมีค่ามากกว่ามาตรฐาน มอก. 1056-2548 ตามตารางที่ 3.1 และมาตรฐานของ ASTM D3578 แบบ 1 ตามตารางที่ 3.2 ได้กำหนดคือ ไม่น้อยกว่า 14 เมกะปาสคาล และไม่น้อยกว่า 650 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดิ่งกับความชื้นเมื่อขาดของการอบวัสดุในถังด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์และเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดิ่งกับความชื้นเมื่อขาดของการอบวัสดุในถังด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์และเวลาต่าง ๆ



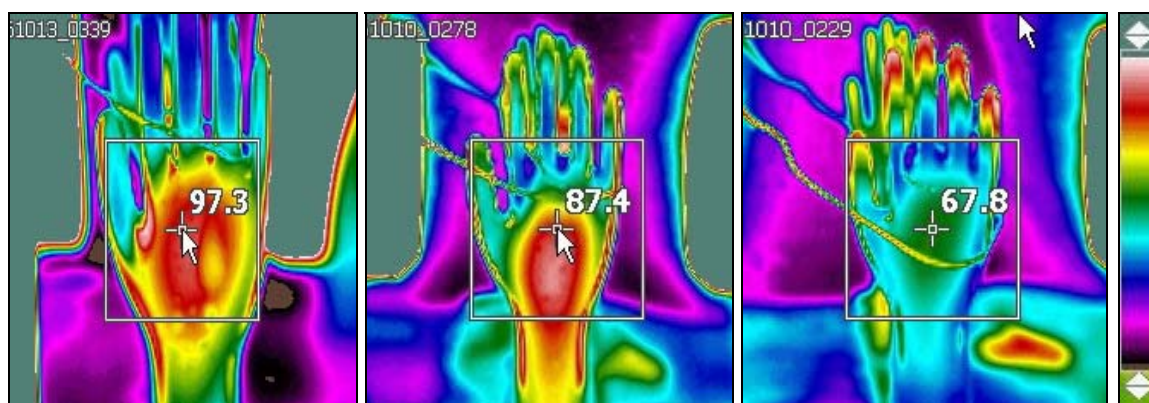
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ และเวลาต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของถุงมือยาง เมื่ออบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที พบว่าถุงมือยางยังไม่สุก โดยที่ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10 และ 15 เซนติเมตร ให้ผลที่ใกล้เคียงกันคือ สีของถุงมือยางเริ่มมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อยในบางตำแหน่งจากการได้รับรังสีในระยะใกล้ ส่วนที่ระยะ 20 เซนติเมตร สีของถุงมือยางมีสีขาวที่ใกล้เคียงสีของน้ำยาง ส่วนการอบวัลคาไนซ์ที่เวลา 10 นาทีในทุกระยะการทดสอบคือ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ถุงมือยางที่ได้นั้นมีความสุกมากกว่า ส่วนสีของถุงมือยางมีสีเข้มมากกว่าการอบที่ 5 นาทีเล็กน้อย และการอบวัลคาไนซ์ที่เวลา 15 นาทีของทุกระยะการทดสอบ พบว่าสีถุงมือยางเข้มขึ้นอีกเล็กน้อยจากการอบ 10 นาทีโดยที่ระยะ 20 เซนติเมตร ถุงมือยางมีสีเข้มเกือบเท่ากันทุกตำแหน่ง

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบวัลคาไนซ์ที่เวลา 5 นาทีของทุกระยะการทดสอบคือ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ถุงมือยางมีความสุกมากกว่าการอบวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในเวลา 15 นาที และสีของถุงมือยางไม่ต่างกัน ส่วนการอบที่เวลา 10 นาที พบว่าระยะที่ 10 และ 15 เซนติเมตร ถุงมือยางเริ่มเกิดการฟองตัวในบางตำแหน่งเพียงเล็กน้อย และผิวบางส่วนของถุงมือยางมีสีเข้มและเข้มในตำแหน่งที่ได้รับรังสีโดยตรง อาจเป็นเพราะระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์อยู่ใกล้กันเกินไปจึงทำให้ถุงมือยางได้รับรังสีที่ไม่สม่ำเสมอแม้ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่ใกล้กว่าจะให้รังสีมากกว่าก็ตาม ส่วนที่ระยะห่าง 20 เซนติเมตร จึงเห็นว่าถุงมือยางที่ได้มีสี

สม่ำเสมอทั้งมืออย่าง อาจเนื่องมาจากการอบวัลคาไนซ์ในระยะนี้ทำให้ยางดูดซับรังสีได้ดีกว่าจากการแผ่รังสีที่สม่ำเสมอมากกว่า เมื่อพิจารณาที่เวลาอบวัลคาไนซ์ 15 นาทีของทุกระยะทดสอบ มืออย่างให้สีไม่ต่างกับที่เวลาอบ 10 นาที และลักษณะของถุงมืออย่างที่ได้มีความพองตัวเล็กน้อย

ดังนั้นการอบวัลคาไนซ์ในระยะ 20 เซนติเมตรของอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาทีจึงเป็นระยะที่มีความเหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ยาง ซึ่งระยะห่างของแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีความเหมาะสมกับการอบวัลคาไนซ์จะทำให้ได้ถุงมืออย่างที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีคือ ถุงมืออย่างมีการสุกพอดีและสามารถถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ไม่ยากจนเกินไปและได้สีที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งมือ



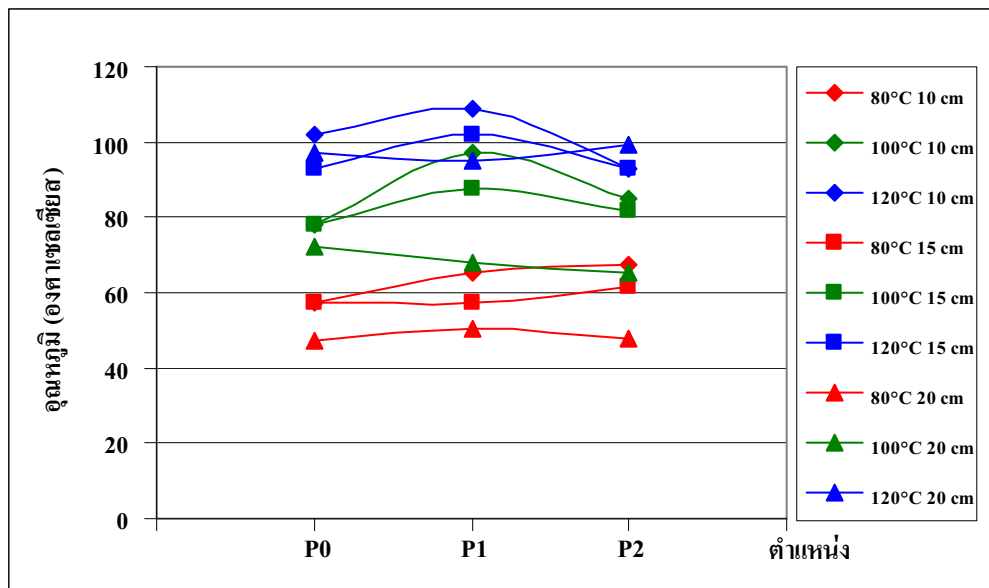
(ก) 10 เซนติเมตร

(ข) 15 เซนติเมตร

(ค) 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 4.11 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิและการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที ที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ

ในภาพที่ 4.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิของถุงมือยางบนแบบพิมพ์ที่อุณหภูมิการอบวัลคาไนซ์ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ ซึ่งให้เห็นว่าที่ระยะ 10 เซนติเมตร บริเวณกลางฝ่ามือของถุงมือยางจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบวัลคาไนซ์ หากระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ เพิ่มขึ้นจะพบว่าที่ระยะ 20 เซนติเมตร จะมีอุณหภูมิบริเวณกลางฝ่ามือน้อยกว่าที่ระยะอื่น ๆ ที่อุณหภูมิอบวัลคาไนซ์เดียวกัน



ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส 10 นาที และระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ ระยะต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.12 ซึ่งเป็นกราฟการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องอบที่ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส อบวัลคาไนซ์นาน 10 นาทีของระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ ระยะต่าง ๆ พบว่าที่ระยะ 10 เซนติเมตรของอุณหภูมิทั้งสาม ให้ค่าการกระจายความร้อน ณ บริเวณแบบพิมพ์ไม่สม่ำเสมอ โดยบริเวณปลายนิ้วมือ (P0) ได้รับความร้อนน้อยที่สุด ส่วนที่บริเวณฝ่ามือ (P1) ได้รับความร้อนมากที่สุด โดยความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอและมีค่าใกล้เคียงกันเกือบทั่วทั้งมือที่ระยะห่าง 20 เซนติเมตร ซึ่งสม่ำเสมอกว่าที่ระยะ 10 เซนติเมตร

5.สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม ได้ผลการทดสอบเพื่อหาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยเน้นการศึกษาถึงอุณหภูมิอากาศร้อน เวลาการอบแห้ง ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงานกับวัสดุที่ดูดซับ การกระจายอุณหภูมิ และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการอบวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถสรุปผลทดสอบได้ดังนี้

1. ได้เครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มต้นแบบ ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กมีขนาดภายนอกเป็น $75 \times 68 \times 62$ เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) ภายในประกอบขึ้นจากแผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร มีขนาดเป็น $65 \times 58 \times 52$ เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) โดยบุฉนวนกันความร้อนระหว่างภายในและภายนอกเครื่องอบหนา 5.08 เซนติเมตร ส่วนขาเครื่องอบสูงจากพื้น 5.08 เซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดความร้อนที่เหมาะสมคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1000 วัตต์ ที่ทำขึ้นจากเซรามิก จำนวน 2 ตัว

2. ทราบระบบการทำงานของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มดังนี้

- ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบหาสภาวะและเงื่อนไขที่เหมาะสม ในการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยคุณภาพหลังการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรดนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี โดยใช้เวลาการอบวัลคาไนซ์ในระยะเวลาอันสั้นเพียง 10 นาที

- อุณหภูมิอากาศร้อนในการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่เหมาะสมเป็น 80 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ

- ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับผิวหน้าแบบพิมพ์ควรมีระยะ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ถุงมือยางมีอุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอเกือบทั่วทั้งแบบพิมพ์

- เครื่องอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดสามารถให้ความร้อนแก่ถุงมือยางและอากาศภายในเครื่องอบได้รวดเร็วกว่าการใช้เครื่องอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและเครื่องอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นกว่า และอุณหภูมิถุงมือยางบนแบบพิมพ์ยังให้ค่าสูงกว่า และความร้อนบนถุงมือยางสม่ำเสมอทั่วทั้งฝ่ามือ มีสีที่สม่ำเสมอ ถุงมือยางไม่พอง และถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาจากเครื่องอบแบบปิด ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่เป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

6. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

1. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

การนำผลวิจัยไปใช้ในการใช้ประกอบการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำยาธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจ ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าและเวลาในการอบวัลคาไนซ์ เนื่องจากการอบวัลคาไนซ์ที่ใช้เวลานั้นกว่าจะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า ทั้งนี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิที่เหมาะสมและระยะห่างของแหล่งกำเนิดความร้อนกับวัตถุที่จะอบวัลคาไนซ์ด้วย นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำเอาสถานะการปฏิบัติงานไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่มได้ ดังนั้นในการทดสอบทางคณะผู้จัดทำจึงออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่สามารถอบวัลคาไนซ์ได้อย่างภายในเวลาไม่เกิน 10 นาที สำหรับผู้ที่สนใจสามารถดัดแปลงการอบวัลคาไนซ์จากการอบวัลคาไนซ์ในเครื่องอบธรรมดา เป็นผู้ขายต่อเนื่องโดยให้แบบพิมพ์ใส่รางไหลผ่าน เพื่อเพิ่มความเร็วและความต่อเนื่องในการอบวัลคาไนซ์ได้

2. ประเด็นวิจัยใหม่

- ก. การศึกษาการอบวัลคาไนซ์โดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน
- ข. การศึกษาความเร็วของลมร้อนที่เหมาะสมให้สอดคล้องกับการประหยัดพลังงาน
- ค. การศึกษาการอบโดยใช้น้ำยาสูตรต่าง ๆ
- ง. การศึกษาทิศทางอากาศที่หมุนเวียนในตู้อบเพื่อให้ความร้อนสัมผัสกับวัตถุได้อย่างสม่ำเสมอมากที่สุด
- จ. การศึกษาความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนของฮีตเตอร์อินฟราเรดเพิ่มเติม
- ฉ. การศึกษาลักษณะของสีที่ได้หลังการอบวัลคาไนซ์

เอกสารอ้างอิง

- กัมลาวัญญ์ เทียวท้าว. 2544. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของพอลิโพรไพลีนกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์โดยกระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกซ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://scitech2.pn.psu.ac.th/polymer/standard/4.5.1%202544.htm>
- ชยากริต ศิริอุทัย. 2533. การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก :
http://www.mtec.or.th/th/search_sys/search_proj/detail.asp?proj_id=MT-B-31-POL-09-002-G&lang=1
- ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย กิวิชาติ กระเบื้องงาน และชินรัตน์ เขาวนัณชัย. 2548. การศึกษากลไกการแห้งของฟองยางธรรมชาติ. การประชุมวิชาการ “พื่นยางไทยให้ยั่งยืน”. ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. หน้า 89-93.
- ณัฐวุฒิ คุชฎี. 2546. การอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรด้วยพลังงานทดแทน. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง 2. สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย อติชัย รุ่งวิชานิวัฒน์ อาชีชัน แกสमान และวุฒิสักดิ์ ศิริทองถาวร. 2538. เทคโนโลยีน้ำยาง : สมบัติและผลิตภัณฑ์. สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และอติชัย รุ่งวิชานิวัฒน์. 2539. กระบวนการแปรรูปยาง. ปัตตานี: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปรีชา ป้องภัย โสภณ ภักคิจิตร และบุญธรรม นิธิอุทัย. 2538. ความสัมพันธ์ระหว่างความกระด้างกับความร้อนสะสมของยางวัลคาไนซ์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย และสุภารัตน์ รักชลธิ. 2546. ผลของ silane coupling agent และระบบการวัล ในซ้ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตของยางธรรมชาติ ที่เสริมแรงด้วยซิลิกา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :http://www.mtec.or.th/th/search_sys/search_proj/detail.
- เพชรสุรางค์ เจริญศิลป์และศิริพร ปัญญาจักร. 2547. การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยคลื่นอินฟราเรด. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- โมโตกิ มัตสึโอะ. 2543. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 436 หน้า

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- เรียวโซ โทเอ. 2525. *อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม(แปรรูปและเรียบเรียงโดย วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล)*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วรารักษ์ จขจรไชยกุล วิชา เสวตกนนิษฐ์ และอำพันทอง ทองคำ. 2329. *การผลิตถุงมือยางเคลือบผ้า*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://www.rubberahai.com/research/year/39/22.html>
- ศิริโรตม์ เกตุแก้ว พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก ชีระ คุณชล และเกรียงศักดิ์ อัปโมกษ์. 2545. *เครื่องอบ เมล็ด และผักพืชด้วยคลื่นอินฟราเรด*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://www.ismed.or.th/knowledge/showcontent>.
- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2540. *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2547. *การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://www.ismed.or.th/knowledge/showcontent>.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงมือสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียวคุณภาพ*. มอก. 1056-2548 (ISO 11193-1:2002).
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2538. *การถ่ายเทความร้อน*. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุนทร โม่งปรานีต. 2547. *พื้นฐานการอบแห้งด้วยอินฟราเรด*. ใน เอกสารประกอบการเสวนาวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อการแปรรูปอาหารและวัสดุอุตสาหกรรมของไทย. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Hall, C.W. 1962. Theory of infrared drying. *Trans. ASAE* 5:14-16.
- Mongpraneet, S., T. Abe. and Tsurusaki, T., 2002. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *J. of Food Eng.* 55: 147-156.
- Hebbar, H. U., K. H. Vishwanathan and M. N. Ramesh. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. of Food Eng.* 65: 557-563.
- W.A. Rubbermate Co., Ltd.. 2548. Glove. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :http://warubbermate.co.th/pro_powder.htm

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

1. การคำนวณเพื่อการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของแหล่งกำเนิดความร้อน (ขนาดของฮีตเตอร์อินฟราเรด)

ในการอบวัสดุในซึ้งครั้งนี้ได้ใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์อินฟราเรดในการทำให้ความชื้นระเหยออกจากรูปแบบของน้ำแบบพิมพ์ การหาขนาดของฮีตเตอร์อินฟราเรด สามารถพิจารณาจากการอบวัสดุในซึ้งได้ มีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. น้ำหนักของก้อนเข้าเครื่องอบวัสดุในซึ้ง (w) | 16.64 | กรัม |
| 2. น้ำหนักของหลังเข้าเครื่องอบวัสดุในซึ้ง (d) | 7.84 | กรัม |
| (น้ำหนักของที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยของน้ำยางที่เกาะบนแม่พิมพ์ถุงมืออย่าง 1 มื้อ) | | |
| 3. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบวัสดุในซึ้ง | 100.00 | องศาเซลเซียส |
| 4. ค่าความจุความร้อนจำเพาะอากาศ | 1.012 | กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน |
| 5. ค่าความจุความร้อนจำเพาะน้ำ | 4.182 | กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน |
| 6. ค่าความจุความร้อนจำเพาะน้ำยางที่ 100 องศาเซลเซียส | 2.19 | กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน |
| 7. ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ | 2257 | กิโลจูลต่อกิโลกรัม |
| 8. เครื่องอบมีขนาดภายใน | $65 \times 58 \times 52$ | เซนติเมตร |

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด

จากสูตร $Q_s = M c_{pg} (\Delta T)$

และ $\rho = \frac{M}{V}$

ดังนั้น $V = 0.65 \times 0.58 \times 0.52$
 $= 0.19604$ ลูกบาศก์เมตร

มวลของอากาศ $M = 0.19604 \times 1.164$
 $= 0.228$ กิโลกรัม

แทนค่า $Q_s = 0.228 \times 1.012 \times [(273.15+100)-(273.15+25)]$
 $= 0.228 \times 1.012 \times 75$
 $= 17.319$ กิโลจูล

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส

จากสูตร
$$M_w = \frac{(w - d) \times 100}{d} \quad (\text{มาตรฐานแห้ง})$$

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned} M_w &= \frac{(16.64 - 7.84) \times 100}{16.64} \quad (\text{มาตรฐานเปียก}) \\ &= 52.885 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

จาก
$$\begin{aligned} Q_L &= M_w c_{pg} (\Delta T) \\ &= 52.88 \times 10^{-3} \times 2.19 \times [(273.15 + 100) - (273.15 + 25)] \\ &= 8.685 \quad \text{กิโลจูล} \end{aligned}$$

ทำการอบวัดคาไนซ์ถุงมืออย่างจำนวน 4 มือ ดังนั้น

$$\begin{aligned} &= 4 \times 8.685 \\ &= 34.74 \quad \text{กิโลจูล} \end{aligned}$$

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจนหมด

$$\begin{aligned} Q_L &= M_w h_{fg} \\ &= 52.885 \times 10^{-3} \times 2257 \\ &= 119.35 \quad \text{กิโลจูล} \end{aligned}$$

ทำการอบวัดคาไนซ์ถุงมืออย่างจำนวน 4 มือ ดังนั้น

$$\begin{aligned} &= 4 \times 119.35 \\ &= 477.14 \quad \text{กิโลจูล} \end{aligned}$$

จากการคำนวณทำให้ทราบว่าต้องใช้พลังงาน 477.14 กิโลจูลต่อวินาที ในการอบวัดคาไนซ์ถุงมืออย่างจำนวน 4 มือ ให้แห้ง จึงควรเลือกฮีตเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 477.14 กิโลจูล และในทางปฏิบัติ จะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับช่องระบายอากาศและช่องระหว่างประตูเครื่องอบและการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของฮีตเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว

2. งบประมาณสร้างเครื่องในงานวิจัยเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

ตารางที่ก.1 งบประมาณสร้างเครื่องในงานวิจัยเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับ
ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

ส่วนประกอบ	จำนวน	งบประมาณ (บาท)
1. ครุภัณฑ์ ประกอบด้วย		
-เครื่องอบขนาดภายนอก 75 x 68 x 62 เซนติเมตร	1 ตู้	
-แท่นวางแบบพิมพ์และที่ยึดโคม	1 ชุด	
-หลอดอินฟราเรดและโคม	2 ชุด	
-สายเทอร์โมคัปเปิ้ล	1 ชุด	
-ตู้ควบคุมอุณหภูมิพร้อมอุปกรณ์ครบชุด	1 ชุด	
รวมค่าครุภัณฑ์		30,322
2. แบบพิมพ์ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่	1 ชุด	3,017
3. สารเคมีและน้ำยา	1 ชุด	7,226
รวม		40,565

3. ผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบบอวลค่าในชุดยูนีฟราเรตที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 องศาเซลเซียส ระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพื้มีระยะต่างๆ

นาที่ที่	การยืดเมื่อย (%)			ความต้านทานแรงดึง (MPa)			โมดูลัส 300%			โมดูลัส 500%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพื้ 10 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	745.59	255.67	768.96	17.37	18.7	27.58	1.38	1.2	1.78	3.08	2.57	4.15
ซ้ำที่ 2	757.88	708.79	684.77	20.09	19.53	22.2	1.41	1.44	1.56	3.29	4.18	6.82
ซ้ำที่ 3	1166.38	753.57	828.48	19.67	12.32	23.24	1.27	1.25	1.46	2.48	2.43	2.82
ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพื้ 15 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	821.29	1069.81	745.75	26.89	20.27	16.59	1.39	1.26	1.33	3.08	2.5	3.12
ซ้ำที่ 2	801.62	675.62	822.73	21.1	12.09	27.97	1.37	1.33	1.53	2.83	3.33	3.26
ซ้ำที่ 3	778.22	775.1	799.3	19.27	20.56	23.12	1.44	1.38	1.48	3.04	3.1	3.08
ระยะห่างระหว่างฮีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพื้ 20 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	793.99	773.41	761.79	19.1	25.61	15.51	1.26	1.6	1.17	2.72	3.71	2.62
ซ้ำที่ 2	802.33	790.99	750.7	17.66	29.97	17.92	1.18	1.63	1.54	2.35	3.66	3.31
ซ้ำที่ 3	-	-	862.05	-	-	24.82	-	-	1.27	-	-	2.5

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบบววลค่าในชุดวียนฟราเรดที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส ระหว่างระยะห่างอีเทอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ

นาที่	การยืดเมื่อขาด (%)			ความต้านทานแรงดึง (MPa)			โมดูลัส 300%			โมดูลัส 500%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
ระยะห่างระหว่างอีเทอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	858.32	789.16	796.23	21.98	19.14	23.2	1.22	1.38	1.35	2.47	2.77	2.83
ซ้ำที่ 2	789.3	801.92	844.43	17.58	24.82	22.11	1.34	1.43	1.32	2.87	3.22	2.6
ซ้ำที่ 3	754.42	731	-	18.39	15.95	-	1.47	1.41	-	3.2	3.12	-
ระยะห่างระหว่างอีเทอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 15 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	785.03	746.1	712.08	21.66	18.67	13.77	1.32	1.53	1.42	3.05	3.36	3.1
ซ้ำที่ 2	678.98	780.51	822.68	16.19	24.27	26.83	1.38	1.52	1.53	3.25	3.63	3.13
ซ้ำที่ 3	661.25	771	-	12.18	22.72	-	1.36	1.49	-	3.5	3.48	-
ระยะห่างระหว่างอีเทอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	806.69	736.93	1122.76	23.07	16.69	22.01	1.37	1.43	1.34	2.97	3.12	2.88
ซ้ำที่ 2	742.17	800.25	750.19	18.52	15.99	21.93	1.58	1.19	1.44	3.42	2.36	3.68
ซ้ำที่ 3	717.57	735.9	824.96	18.52	10.8	27.1	1.34	1.15	1.39	3.68	2.29	3.32

ตารางที่ ๒.4 ผลการทดสอบบววลค่าในชุดวียนฟราเรดที่อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส ระหว่างระยะห่างอัตราเร็วอินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ

นาที่	การยืดเมื่อขาด (%)			ความต้านทานแรงดึง (MPa)			โมดูลัส 300%			โมดูลัส 500%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
ระยะห่างระหว่างอีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	601.42	755.23	791.35	16.34	22.14	22.18	1.5	1.54	1.44	3.41	3.49	3.06
ซ้ำที่ 2	780.93	-	757.95	20.21	-	16.09	1.45	1.01	1.22	3.12	2.17	2.67
ซ้ำที่ 3	-	-	819.55	-	-	27.68	-	-	1.49	-	-	3.29
ระยะห่างระหว่างอีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 15 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	818.89	721.95	824.45	25.75	15.64	23.61	1.46	1.42	1.3	3.12	3.29	2.6
ซ้ำที่ 2	769.78	762.74	800.95	18.56	21.42	21.92	1.38	1.46	1.4	3.04	3.55	2.93
ซ้ำที่ 3	797.14	-	-	23.86	-	-	1.43	-	-	3.17	-	-
ระยะห่างระหว่างอีทเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร												
ซ้ำที่ 1	727.23	760.11	844.31	13.79	19.32	28.79	1.25	1.43	1.47	2.87	3.17	2.96
ซ้ำที่ 2	-	776.36	775.35	-	16.96	20.54	-	1.37	1.38	-	2.74	3.2
ซ้ำที่ 3	-	807.94	757.42	-	21.42	16.55	-	1.35	1.36	-	2.87	2.85

ตารางที่ ๒.๕ ผลการทดสอบอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ที่อุณหภูมิอากาศร้อนต่างๆ

น้ำหนัก	การยืดเมื่อขาด (%)			ความต้านทานแรงดึง (MPa)			โมดูลัส 300%			โมดูลัส 500%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
อุณหภูมิอากาศร้อน 80 องศาเซลเซียส												
ซ้ำที่ 1	690.34	706.21	678.06	21.08	26.47	18.51	1.92	1.84	1.55	4.86	5.62	4.6
ซ้ำที่ 2	676.83	670.76	734.96	16.84	24.41	17.48	1.31	1.79	1.42	4.38	4.26	3.29
ซ้ำที่ 3	707.14	688.25	746.41	19.54	19.75	27.8	1.33	1.47	1.82	4.16	5.09	4.83
อุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส												
ซ้ำที่ 1	692.23	740.41	662.38	18.72	21.01	19.42	1.45	1.47	1.47	4.24	3.66	6.1
ซ้ำที่ 2	558.74	678.08	671.9	14.95	14.85	20.62	1.53	1.36	1.49	9.12	4.1	5.85
ซ้ำที่ 3	689.15	639.18	671.08	21.85	15.69	20.35	1.52	1.42	1.46	5.36	4.15	4.43
อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส												
ซ้ำที่ 1	936.69	889.04	668.41	19.38	18.41	14.47	1.43	1.5	1.35	4.17	4.31	4.12
ซ้ำที่ 2	748.98	612.36	714.63	17.32	17.73	19.68	1.37	1.39	1.58	3.11	3.2	4.26
ซ้ำที่ 3	633.77	574.04	725.56	10.14	18.68	13.97	1.48	1.51	1.3	3.59	7.36	3.04

ตารางที่ ๒.๖ ผลการทดสอบบดค่าในชุดด้วยเครื่องมือร่วมกับการบดอากาศ ความเร็วลมภายในเครื่องอบ 1 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิอากาศร้อนต่าง ๆ

ชนิด น้ำที่	การยืดเมื่อขาด (%)			ความต้านทานแรงดึง (MPa)			โมดูลัส 300%			โมดูลัส 500%		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
อุณหภูมิอากาศร้อน 80 องศาเซลเซียส												
ชุดที่ 1	746.56	653.43	732.24	19.24	14.77	19.49	1.45	1.24	1.51	3.45	3.06	3.74
ชุดที่ 2	765.93	716.54	720.2	22.47	24.82	17.3	1.64	1.63	1.56	3.92	5.33	3.65
ชุดที่ 3	554.78	703.48	690.72	14.92	30.01	19.54	1.68	2.01	1.64	8.95	6.72	4.77
อุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส												
ชุดที่ 1	768.79	706.54	768.95	18.3	17.37	17.74	1.29	1.52	1.19	3.02	3.82	2.8
ชุดที่ 2	724.19	713.28	675.31	16.15	18.07	17.42	1.25	1.39	1.19	2.86	3.07	2.82
ชุดที่ 3	684.83	712.25	727.01	21.58	18.28	15.93	1.64	1.52	1.34	5.42	3.81	3.14
อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส												
ชุดที่ 1	652.79	742.19	771.95	15.43	11.98	23.75	1.77	1.42	1.55	4.64	3.75	3.6
ชุดที่ 2	989.66	743.19	718.54	13.87	20.05	14.82	1.29	1.48	1.32	2.94	3.53	3.15
ชุดที่ 3	780.23	-	736.87	28.42	-	16.93	1.74	-	1.43	4.2	-	3.18

ตารางที่ ก.7 อุณหภูมิเฉลี่ยของมียางบนแบบพิมพ์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการอบอัดคานาชั่งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ เวลา และระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์
อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ต่าง ๆ

	ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรด กับแบบพิมพ์ 10 cm			ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรด กับแบบพิมพ์ 15 cm			ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรด กับแบบพิมพ์ 20 cm		
ตำแหน่ง	P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2
นาฬิกาที่	อุณหภูมิอากาศร้อน 80 องศาเซลเซียส								
5	52.65	63.75	67.90	54.5	60.33	59.95	45.15	55.57	44.70
10	57.45	65.47	67.35	57.15	57.43	61.75	47.05	50.62	47.80
15	66.30	66.10	74.20	64.85	59.30	53.65	58.20	53.52	50.90
นาฬิกาที่	อุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส								
5	53.40	86.40	77.35	71.15	76.53	80.95	51.10	57.82	50.60
10	78.10	97.30	85.20	78.20	87.40	81.90	76.40	70.45	68.10
15	81.15	98.97	88.40	87.75	89.82	85.95	77.90	81.38	69.60
นาฬิกาที่	อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส								
5	78.05	111.25	92.15	77.10	88.92	87.95	56.90	60.80	55.45
10	101.80	108.60	93.00	102.00	92.80	91.70	99.35	97.30	95.10
15	107.13	118.12	110.96	104.00	109.37	103.00	104.55	105.45	100.95

ตารางที่ ก.8 อุณหภูมิเฉลี่ยของถุงมือยางบนแบบพิมพ์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการอบวัลคาไนซ์ด้วย
ลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ และระยะห่างระหว่าง
แหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 25 เซนติเมตร

ตำแหน่ง (Label)	อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบ (°C)		
	80	100	120
เวลาอบวัลคาไนซ์ 5 นาที			
P0	38.19	42.75	64.06
P1	39	47.36	63.13
P2	37.06	45.13	60.81
เวลาอบวัลคาไนซ์ 10 นาที			
P0	50.1	68.34	72.81
P1	52.43	70.06	75.2
P2	49.5	69.13	74.56
เวลาอบวัลคาไนซ์ 15 นาที			
P0	61.38	83.69	99.81
P1	65.1	87.43	101.7
P2	64	85	100.81

ตารางที่ ก.9 อุณหภูมิเฉลี่ยของถุงมือยางบนแบบพิมพ์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการอบวัลคาไนซ์ด้วย
ลมร้อนแบบอิสระ ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความ
ร้อนกับแบบพิมพ์ 27 เซนติเมตร

ตำแหน่ง (Label)	อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบ (°C)		
	80	100	120
เวลาอบวัลคาไนซ์ 5 นาที			
P0	41.05	49.66	55.34
P1	43.9	50.03	54.97
P2	41.06	50.06	52.75
เวลาอบวัลคาไนซ์ 10 นาที			
P0	45.22	52.39	53.64
P1	48.9	53.23	56.13
P2	43.5	54.38	54.81
เวลาอบวัลคาไนซ์ 15 นาที			
P0	49.16	57.86	56.48
P1	50.76	55.83	57.63
P2	49.75	54.13	55.56

4. ภาพถ่ายเครื่องอบวัสดุในซึ้งแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและภาพเขียน



ภาพที่ ก.1 เครื่องอบวัสดุในซึ้งแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม



ภาพที่ ก.2 ฮีตเตอร์เซรามิกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 1000 วัตต์ พร้อมโคมสะท้อนแสง (1หลอดต่อ1 โคม)



ภาพที่ ก.3 การอบวัลคาไนซ่ายด้วยอินฟราเรด



ภาพที่ ก.4 การตรวจวัดอุณหภูมิในบริเวณที่ต้องการ



ภาพที่ ก.5 เครื่องอบแบบลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศของบริษัท เทคนิคคอลเทรต จำกัด
ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ ก.6 การอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ



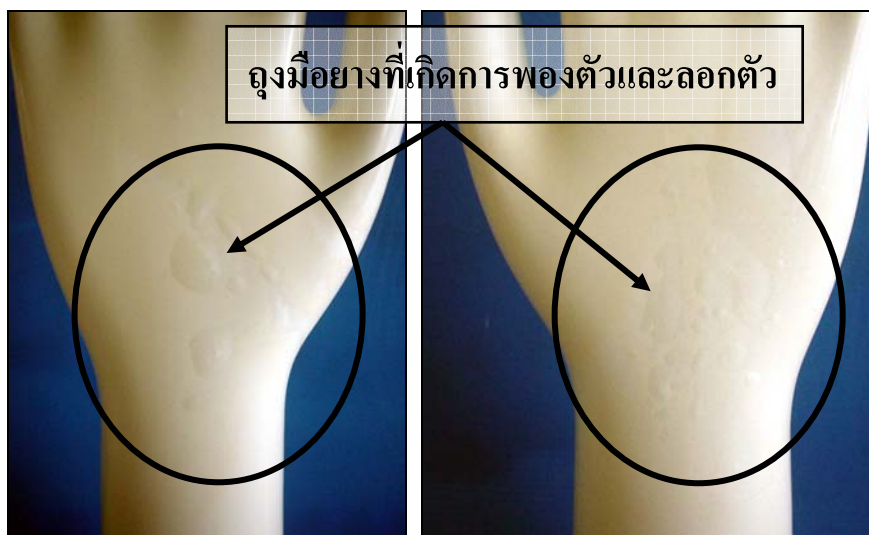
ภาพที่ ก.7 เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระ ยี่ห้อ Memmert



ภาพที่ ก.8 การอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระ



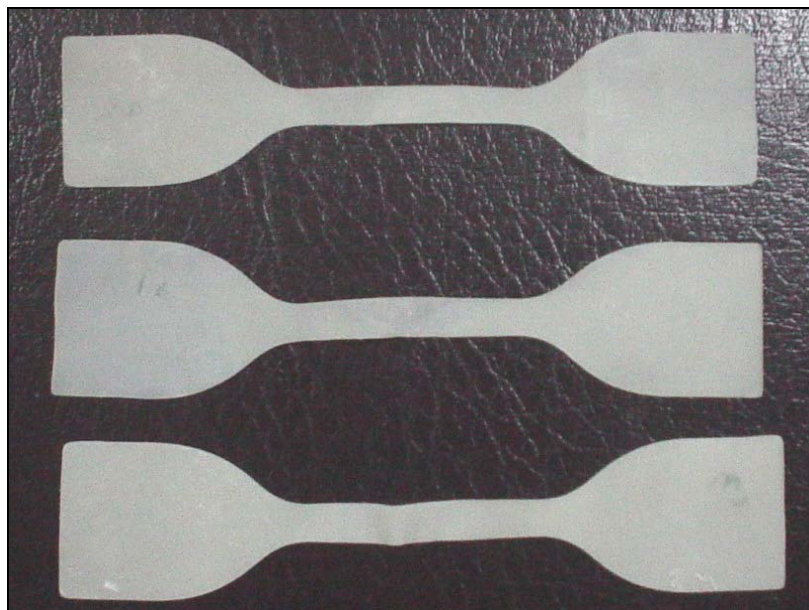
ภาพที่ ก.9 ถุงมือยางที่ยังไม่สุก



ภาพที่ ก.10 ตัวอย่างถุงมือยางที่เกิดการพองตัวและลอกตัวออกจากแบบพิมพ์



ภาพที่ ก.11 ตัวอย่างการไหม้ของถุงมือยางภายหลังการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด



ภาพที่ ก.12 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล



ภาพที่ ก.13 อุปกรณ์สำหรับทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ (Specimen marking device)
ยี่ห้อ Zwick รุ่น B066921



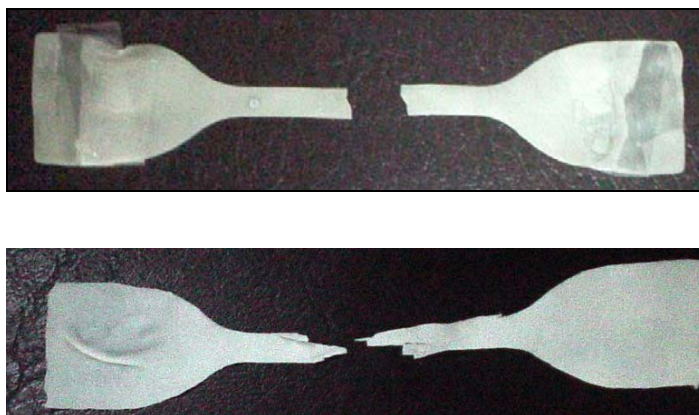
ภาพที่ ก.14 เครื่องมือวัดความแข็งแรง ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z005



ภาพที่ ก.15 ที่จับยาง (Grips) แบบขันแน่นโดยอัตโนมัติ



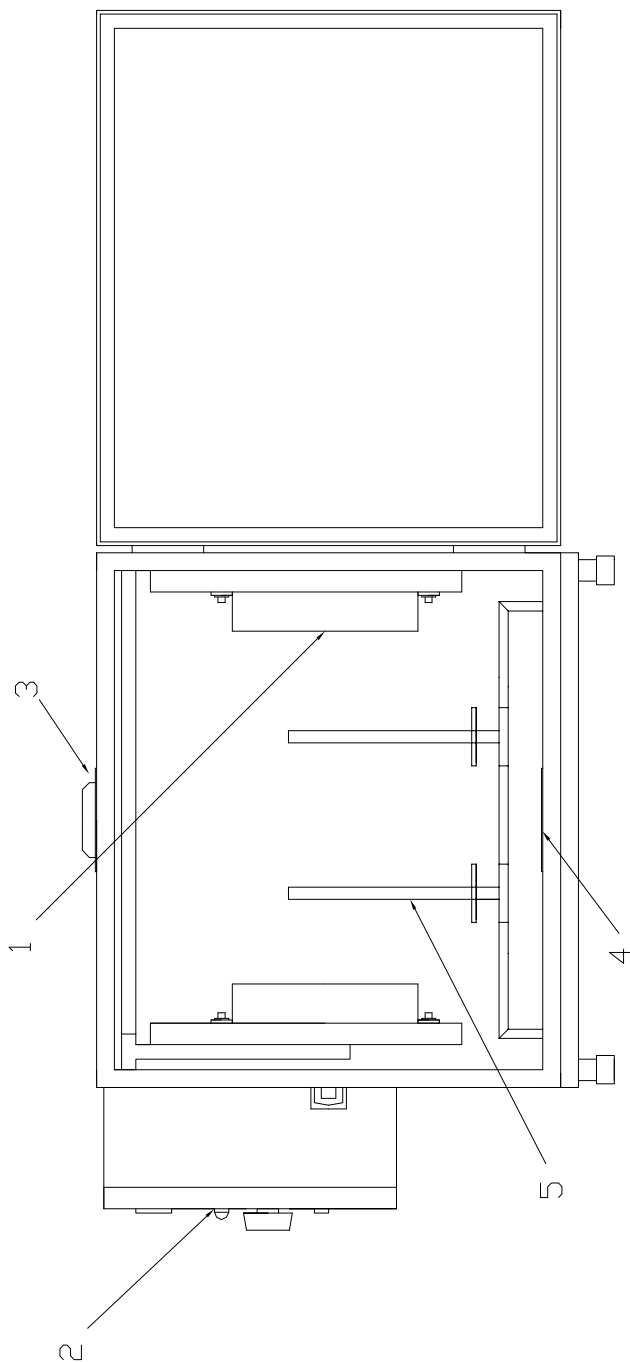
ภาพ ก.16 การทดสอบคุณสมบัติของถุงมือยางหลังการอบวัลคาไนซ์ 10 ชั่วโมง



ภาพ ก.17 ตัวอย่างการขาดของชิ้นทดสอบลักษณะต่าง ๆ

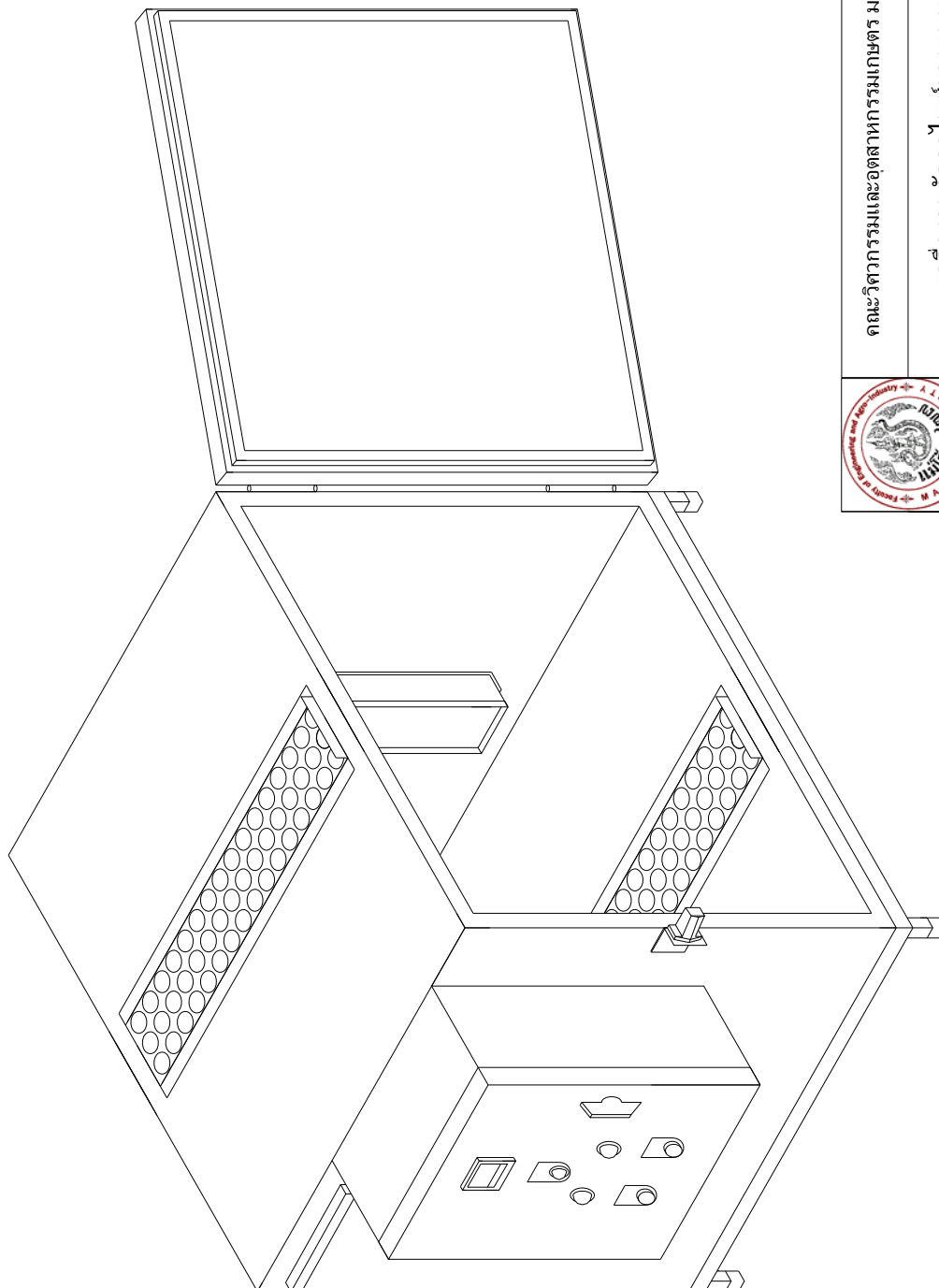


ภาพ ก.18 เครื่องวัดค่าความร้อน ยี่ห้อ Infrared Solutions รุ่น IR-FLEXCAM™-T



- 1 อีเตอร์อินฟราเรด
- 2 ชุดควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่อง
- 3 ช่องเปิด - ปิดสำหรับระบายอากาศ
- 4 ช่องเปิด - ปิดสำหรับอากาศเข้า
- 5 แท่นวางแม่พิมพ์ถ้วยมือยาง

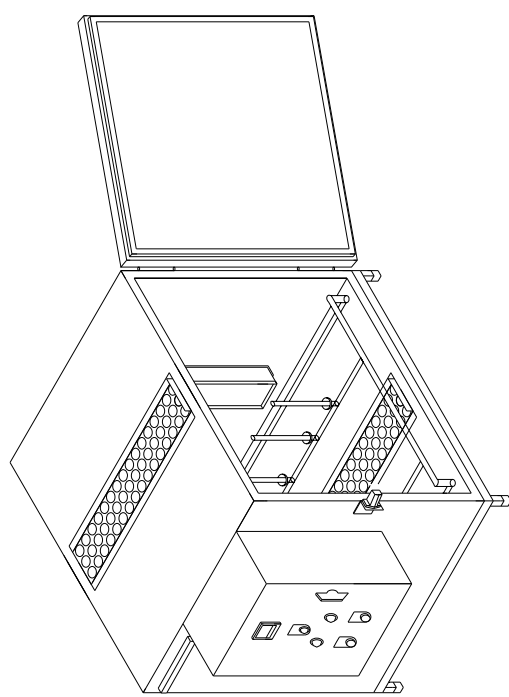
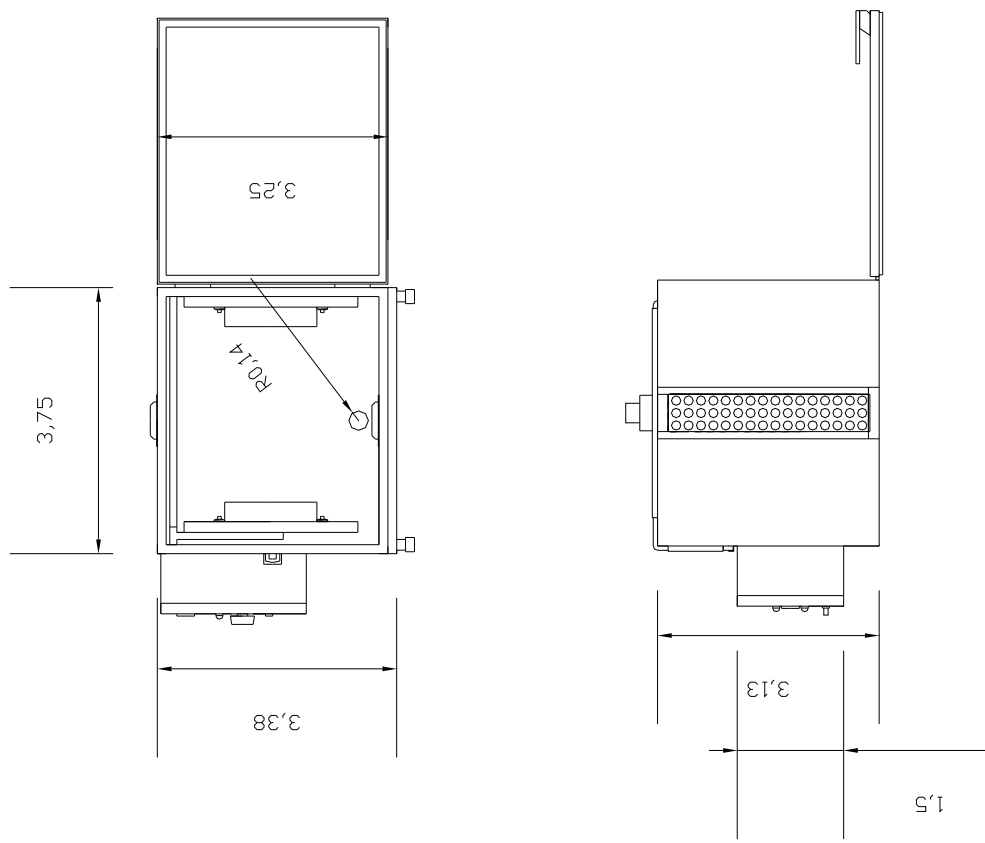
	คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้		
	เครื่องวัดค่าในเชิงแบบอินฟราเรด		
เขียนโดย	คัตกรและพิรดา	มาตราส่วน 1:20	หน่วย เซนติเมตร
ออกแบบโดย	คัตกรและพิรดา	วันที่ 1/3/49	



คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

เครื่องอบวัสดุในช่องแบบอินฟราเรด

เขียนโดย	คัตกรและฟิรดา	มาตราส่วน 1:10	หน่วย
		วันที่ 1/3/49	เซนติเมตร
ออกแบบโดย	คัตกรและฟิรดา		



	คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี		
	เครื่องวัดค่าในถังแบบอินฟราเรด		
เขียนโดย	คัตกรและพริดา	มาตราส่วน 1:20	หน่วย
ออกแบบโดย	คัตกรและพริดา	วันที่ 1/3/49	เซนต์ไมเคิล

ภาคผนวก ข.
บทความทางวิชาการ

การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

Design and Development of the Vulcanized Rubber Drier Using Infrared Radiation for Dipping Products

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นายกิตกร กาญจนกิจตะ และนางสาวพิรดา เนตรงาม

หลักสูตรวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ. สันทราย

จ.เชียงใหม่ ไปรษณีย์ 50290 โทร 053-878123

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตยางขึ้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือ การวัลคาไนซ์ยางซึ่งเป็นกระบวนการทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธีและถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อการประหยัดพลังงานและการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม และหาเงื่อนไขในการอบวัลคาไนซ์ยางโดยพิจารณาสมบัติด้านความแข็งแรงและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ การทดสอบอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางขนาดกลางด้วยเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด โดยใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องอบ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร และเวลาอบ 5, 10 และ 15 นาที พบว่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วง 15-25 เมกะปาสกาล และ 700-850 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่ความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที และการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระได้ค่าในช่วง 15-25 เมกะปาสกาล และ 650-800 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลักษณะทางกายภาพชี้ให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 เซนติเมตร เมื่ออบวัลคาไนซ์ด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 15 และ 10 นาที ตามลำดับ ถุงมือจะสุกและถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ง่ายเช่นเดียวกับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ โดยการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลามากกว่า 15 นาที และจากการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในห้องอบพบว่า ถุงมือยางขณะที่ยังวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรดมีอุณหภูมิสูงกว่าและสม่ำเสมอกว่าแบบลมร้อนทั้งสองแบบที่ตัวแปรต่างเดียวกัน

Abstract

One of important processes in rubber production is rubber vulcanizing. There are several vulcanizing processes which are continuously developed for energy saving and a better quality of rubber products. The objective of this research is to design, develop and test the vulcanized rubber drier by using infrared radiation for dipping products. And also, searching for an appropriate drying condition based on strength and physical characteristic of the products. The experiment is conducted by vulcanizing disposable medical gloves medium size by using infrared vulcanizer. Two rectangular ceramic coated surface infrared heaters with 1,000 watt power each are used in this experiment. The performance test of natural rubber latex drying was based on 3 independent parameters and 3 different test conditions for each parameter; inside air temperature of 80, 100 and 120 °C, lateral distances between infrared emitters and the heated ceramic mold of 10, 15 and 20 cm and drying time of 5, 10 and 15 min. The test result showed that the tensile strength and elongation at breaking point were 15-25 MPa and 700-850 %, respectively. For drying by the hot air with controlled air velocity of 1 m/s and free convection hot air, the test result were more or less the same at 15-25 MPa and 650-800 %. The distance between emitters and surface of heated ceramic mold of 20 cm having air temperatures inside the chamber of 80 and 100 °C made the glove removal from heated ceramic mold much more easily when dried for 15 and 10 min, respectively. The easier glove removal was also affected by hot air drying with controlled air velocity at 1 m/s. On the contrary, free convection hot air lengthened the drying time more than 15 min; this happened even with very high air temperature inside the chamber (120 °C). Using the thermal image measured the temperature profile inside the driers with the same setting conditions, results showed that the vulcanized rubber drying by infrared had higher temperatures and more uniform than that of the two hot air driers.

Keywords

คำสำคัญ : เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม, การอบวัลคาไนซ์ยาง, การแผ่รังสีอินฟราเรด

Keywords : Design and Development of the Vulcanized Rubber Drier Using Infrared Radiation for Dipping Products,

Vulcanized Rubber, Rubber Drying, Infrared Radiation

ความเป็นมา

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกยางพาราธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก มีสัดส่วนการผลิตเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณการผลิตของโลก และส่งออกร้อยละ 47 ของปริมาณการส่งออกยางทั้งหมดของโลก รายได้จากการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบของไทยในปี 2547 มีมูลค่าถึง 136,704 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ความต้องการยางธรรมชาติเป็นความต้องการต่อเนื่อง จากความต้องการใช้ในการผลิตยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออก ซึ่งมีมูลค่ารวมกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ส่งออกในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางอบแห้ง ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ

ขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นขั้นตอนหนึ่งคือ การทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อน ซึ่งการทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อนโดยทั่ว ๆ ไปมักเป็นการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อน แต่การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด เพื่อเปรียบเทียบกับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อน โดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสีเช่นเดียวกับการส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก ให้รังสีในช่วง 3 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี สามารถให้ความร้อนถึงเนื้อในวัตถุดิบจะทำให้เนื้อซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยางร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการสั่นของโมเลกุลจึงให้ประสิทธิภาพการอบวัลคาไนซ์สูง การสูญเสียต่ำ ใช้เวลาน้อยกว่าความร้อนแบบทั่วไป 1 ถึง 10 เท่าและประหยัดไฟฟ้าได้ 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟและไม่เกิดไฟรั่ว

ส่วนการให้ความร้อนโดยการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบปกตินั้น จะเกิดการพาความร้อนก่อน เมื่อผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้นจะเป็นการนำความร้อน โดยจะเป็นการส่งผ่านความร้อนไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้จากการได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ถ้าเป็นการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดนั้น รังสีอินฟราเรดจะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์ร้อนขึ้น โอกาสที่ผิวหน้าของวัสดุจะเกิดการไหม้จึงมีน้อยมาก เหมาะเป็นอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่มีความบางเช่น ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม จึงน่าจะเป็นไปได้ในการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในการอบวัลคาไนซ์ยาง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบสร้างเครื่องมือและทดลองหาสภาวะเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสม
2. เพื่อการนำไปใช้งานเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม
3. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์สร้างเครื่อง

- ฮีตเตอร์อินฟราเรด ขนาด 1000 W 2 ตัว
- เครื่องเชื่อมโลหะ
- เครื่องตัดโลหะ
- แผ่นสแตนเลส
- สายไฟ
- แผ่นเหล็ก

อุปกรณ์ทดสอบ

- เครื่องชั่ง (Weigh Meter)
- บีกเกอร์
- เครื่องวัดความแข็งแรงของวัสดุ
- กล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Infrared Solutions รุ่น IR-FLEXCAM™-T
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) ชนิด K

สารเคมี

- น้ำยางชนิด PVAH
- Calcium chloride

2.วิธีการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด, ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่ความเร็วลมภายในเครื่องอบ 1 ม/นาที่ และด้วยลมร้อนแบบอิสระเพื่อศึกษาสภาวะและเงื่อนไขต่าง ๆ ของการอบวัลคาไนซ์ยางมีขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ดังนี้

2.1 การเตรียมน้ำยาง สารช่วยให้น้ำยางจับตัวและ

แบบพิมพ์

ในการทดสอบนี้ใช้แบบพิมพ์ขนาดกลาง (เบอร์ M) ที่ทำจากเซรามิกจุ่มน้ำยาง โดยมีวิธีการโดยสังเขปดังนี้

2.1.1 เตรียมน้ำยางตามสูตรให้มีความเข้มข้น 45 %

แล้วนำไปกรองเพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำยางและสิ่งเจือปนที่มองไม่เห็น หลังทำการผสมน้ำยางแล้วต้องวางทิ้งไว้ภายในห้องทดสอบเป็นเวลา 24 ชม. ก่อนทำการจุ่ม เพื่อให้ฟองอากาศ

ในน้ำยางลอยขึ้นมาบนผิวหน้าแล้วจึงตักออก เนื่องจาก
ฟองอากาศจะทำให้เกิดรูบนถุงมือยางได้

2.1.2 เตรียมสารช่วยให้ น้ำยางจับตัวที่ทำจาก
Calcium chloride ที่ความเข้มข้น 10 % เพื่อช่วยให้น้ำยางเกาะ
แบบพิมพ์อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแบบพิมพ์ในตำแหน่งที่ต้องการ

2.1.3 นำแบบพิมพ์ที่สะอาดแล้วไปอุ่นให้แบบพิมพ์
แห้งหมดที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2-3 นาที แล้วจุ่มลงในสาร
ช่วยให้น้ำยางจับตัวเป็นเวลา 5 วินาที แล้วทำให้แห้งหมดโดย
การหมุนจำนวน 10 รอบ แล้วอุ่น 2-3 นาที

2.1.4 นำแบบพิมพ์ที่แห้งหมดจากข้อ 2.1.3 จุ่มน้ำ
ยางเป็นเวลา 5 วินาที หมุนแบบพิมพ์อย่างช้า ๆ ในแนวนอน 5
รอบ และในแนวตั้ง 5 รอบ เพื่อให้น้ำยางมีความสม่ำเสมอทั่ว
ทั้งแบบพิมพ์และไม่ให้มีหยดน้ำยางติด แล้วจึงนำไปอบวัลคา
ไนซ์

2.2 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการ อบวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลไป
ออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดต้นแบบ ผล
การศึกษามีดังนี้

2.2.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดความร้อน

การอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางด้วยอินฟราเรด ได้ศึกษา
ฮีตเตอร์อินฟราเรด 2 แบบคือ แบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัส
ขนาด 800 W และแบบหลอดเซรามิกขนาด 800 W โดยใช้
เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (สุนทรและคณะ, 2548) ที่มี
อยู่ ได้ผลสรุปคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยม
จัตุรัสเหมาะกับการอบแบบลาดมากกว่า เนื่องจากมีการกระจาย
ความร้อนตามลักษณะของฮีตเตอร์อินฟราเรดคือกระจายความ
ร้อนเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนแบบหลอดเซรามิกนั้นลักษณะฮี
ตเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดเป็นทรงกลมทำให้เกิดการกระจาย
ความร้อนออกไปยังด้านหลังซึ่งรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกไปจะ
กระจายชนกับโคมสะท้อนรังสีแล้วตกกระทบกับแบบพิมพ์ใน
ตำแหน่งที่ไม่ต้องการอบวัลคาไนซ์ จึงเลือกใช้ฮีตเตอร์
อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถส่งผ่าน
รังสีตกกระทบกับแบบพิมพ์ได้โดยตรงพอดี ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ฮีตเตอร์เซรามิกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 1000 วัตต์
พร้อมโคมสะท้อนแสง

2.2.2 อุณหภูมิอากาศร้อนภายในเครื่องอบ

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนด้วยฮีตเตอร์
อินฟราเรดแบบแผ่นเซรามิกสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 800 วัตต์ และ
แบบหลอดเซรามิกขนาด 800 W ทำการทดสอบอบที่อุณหภูมิ
60, 80, 100 และ 120 °C ได้ผลว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ระยะห่าง
ระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 30 ซม. ในเวลา 15
นาทีนี้ ไม่สามารถทำให้งูมมือยางสุกได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่
นำมาหาสภาวะของเครื่องอบ ส่วนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120
°C นั้นสามารถทำให้งูมมือยางสุกเกือบทั้งหมด ซึ่งขึ้นกับตัว
แปรอื่น ๆ ด้วย จึงจะทำการศึกษาอุณหภูมิเหล่านี้

2.2.3 ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบ พิมพ์

ระยะที่นำมาทดสอบ ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25 และ
30 ซม. เมื่ออบที่อุณหภูมิ 120 °C สามารถทำให้งูมสุกได้
ยกเว้นที่ระยะ 5 ซม. ที่งูมมือยางเกือบไหม้ ซึ่งในการเลือกใช้
งานจริงควรคำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย ทั้งนี้
ปริมาณเครื่องอบขนาดเล็กจะเหมาะกับการใช้งานในระดับ
ชุมชนได้อีกด้วย จึงพิจารณาที่ระยะ 10, 15 และ 20 ซม.

2.2.4 เวลาในการอบวัลคาไนซ์ยาง

ได้เลือกศึกษาที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที เนื่องจาก
รังสีอินฟราเรดสามารถให้รังสีได้โดยตรงซึ่งหากใช้ระยะเวลาที่
นานกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้งูมเกิดการไหม้ได้

2.3 การออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบ อินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

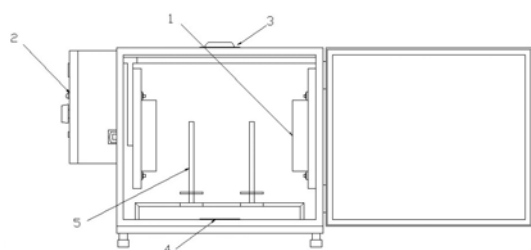
เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับ
ผลิตภัณฑ์แบบจุ่มที่ออกแบบ ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดรังสี
อินฟราเรด ระบบระบายอากาศ แท่นวางแบบพิมพ์ ระบบ
ควบคุม และโครงสร้างเครื่องอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด

งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องให้ความร้อนโดยใช้รังสี
อินฟราเรดแบบไฟฟ้าให้ความร้อนจากการไหลของ
กระแสไฟฟ้าผ่านแท่งความร้อนซึ่งมีความต้านทานสูง เคลือบ

ผิวหน้าด้วยเซรามิกดำ เพื่อให้การแผ่พลังงานความร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึงและติดตั้งกับคอมสเก็ทอนรังสีเพื่อทำให้อุณหภูมิของวัสดุที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น ฮีตเตอร์อินฟราเรดและคอมสเก็ทอนรังสีถูกติดตั้งไว้ด้านข้างตู้ทั้งสองข้างในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยข้างหนึ่งจะกำหนดให้ติดตั้งไว้บนรางเลื่อนสแตนเลสที่ทำงานโดยเฉพาะ ที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ตามระยะทดสอบที่ต้องการ ส่วนฮีตเตอร์อินฟราเรดอีกข้างหนึ่งจะติดตั้งไว้ในลักษณะยึดอยู่กับที่

คอมสเก็ทอนรังสีอินฟราเรดเลือกที่ทำขึ้นจากอลูมิเนียม เพื่อให้อินฟราเรดสะท้อนไปยังแบบพิมพ์ได้มาก ตัวคอมสเก็ทอนรังสีประกอบไปด้วยเครื่องป้องกันและฝาครอบที่ทำด้วยเซรามิกจะช่วยป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าขณะทำการอบวัลคาไนซ์ได้ ตำแหน่งการติดตั้งฮีตเตอร์แสดงในภาพที่ 2



- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. ฮีตเตอร์อินฟราเรด | 4. ระบบระบายอากาศ |
| 2. แผงควบคุมอุณหภูมิ | 5. แท่นวางแม่พิมพ์ |
| 3. ระบบระบายอากาศ | |

ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์อื่น ๆ

2.3.2 ระบบระบายอากาศ

ได้ออกแบบให้มีช่องระบายอากาศที่ด้านบนของเครื่องอบโดยปรับความกว้างของช่องระบายอากาศได้ด้วยแผ่นกั้น (Damper)

2.3.3 ระบบควบคุม

ประกอบไปด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เซนเซอร์อุณหภูมิ และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน ระบบจะแสดงค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบซึ่งถูกวัดด้วยตัวเซนเซอร์อุณหภูมิ

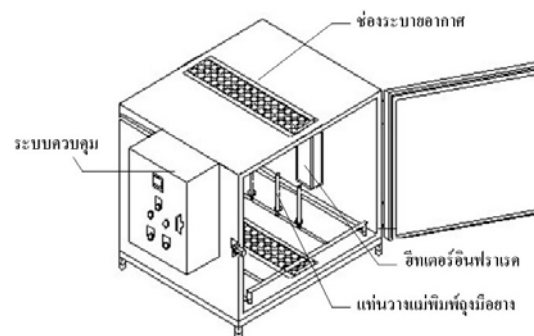
2.3.4 แท่นวางแบบพิมพ์

ทำขึ้นโดยเฉพาะจากท่อสแตนเลสเพื่อใช้เสียบแบบพิมพ์ ซึ่งแท่นนี้สามารถปรับระดับได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ตามระยะห่างที่ต้องการศึกษาและต้องการอบวัลคาไนซ์

2.3.5 โครงสร้างของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

โครงสร้างของเครื่องอบวัลคาไนซ์แบบนี้ประกอบขึ้นเป็นลักษณะตู้สี่เหลี่ยมด้วยการพับแผ่นเหล็ก โดยออกแบบ

ให้มีความกว้าง ความยาวและความสูงในระยะที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ ตัวเครื่องอบมีการป้องกันความร้อนกระจายออกสู่ภายนอกด้วยการใช้ฉนวนกันความร้อนจำนวน 2 ชั้นในช่องระหว่างแผ่นเหล็กภายนอกกับแผ่นสแตนเลสภายในเครื่องอบ (รวมส่วนของประตูเปิด-ปิด) นอกจากนี้ยังออกแบบให้มีความสูงจากพื้นอีกด้วยเพื่อไม่ให้เกิดปัจจัยที่เป็นผลต่อการอบวัลคาไนซ์ยาง รูปร่างภายนอกของโครงสร้างเครื่องอบแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องอบวัลคาไนซ์แบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

2.4 การทดสอบตัวแปรต่างๆ ในการอบวัลคาไนซ์

อุณหภูมิ

ในการทดสอบนี้ใช้แบบพิมพ์ขนาดกลางในการจุ่มน้ำยาง โดยมีตัวแปรต้นที่ศึกษาได้แก่รูปแบบการอบวัลคาไนซ์ 3 ระดับ คือ การอบวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอินฟราเรด, ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ และด้วยลมร้อนแบบอิสระ มีตัวแปรที่จะศึกษาซึ่งได้เลือกจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์แล้วดังนี้

2.4.1 การศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนภายในเครื่องอบ

3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 °C

2.4.2 การศึกษาเวลาในการอบวัลคาไนซ์ที่เวลา 5,

10 และ 15 นาที

2.4.3 การศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์จากระยะ 10, 15 และ 20 ซม.

ส่วนการอบวัลคาไนซ์อุณหภูมิอย่างด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและด้วยลมร้อนแบบอิสระ จะทำการอบที่ระยะกึ่งกลางเครื่องอบโดยมีระยะเป็น 25 และ 27 ซม. ตามลำดับ

2.4.4 การศึกษาการกระจายอุณหภูมิ เพื่อศึกษาค่า

ความร้อนในบริเวณต่าง ๆ ด้วยการบันทึกภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน

2.4.5 การทดสอบสมบัติดึงมือน้อยที่ได้อัฒการ
อบวัลคาไนซียง

ดึงมือน้อยที่ได้อัฒเตรียมเป็นชั้นทดสอบรูปดัมเบล
แล้วทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงของวัสดุ
ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z500 ด้วยที่จับยางแบบขันแน่นโดยอัตโนมัติ
(Self tightening) ขนาด 10 กิโลนิวตัน ความเร็วในการดึง 500
มม./นาที

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. ผลการออกแบบเครื่องอบวัลคาไนซียงแบบ อินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

มีส่วนประกอบหลักและลักษณะของเครื่องอบวัลคา
ไนซียงแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มดังนี้

1.1 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด ทำด้วยหลอด
ความต้านทานสูงเคลือบผิวด้วยเซรามิกสีดำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
แบบใช้ไฟฟ้าขนาด 6 x 24.5 ซม. (กว้าง x ยาว) กำลัง 1000 วัตต์
จำนวน 2 ตัว โคมสะท้อนรังสีสเตนเลสขนาด 7 x 26 x 3 ซม.
(กว้าง x ยาว x ลึก)

1.2 ระบบระบายอากาศ ทำจากแผ่นเหล็กขนาด 8 x
23 ซม. (กว้าง x ยาว) เส้นผ่านศูนย์กลางรูระบายอากาศ 2.8 ซม.

1.3 ระบบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ
ยี่ห้อ SHINKO รุ่น JCS

1.4 แท่นวางแบบพิมพ์และรางแขวนฮีตเตอร์
อินฟราเรดทำขึ้นจากท่อสเตนเลสขนาด 1.905 ซม.

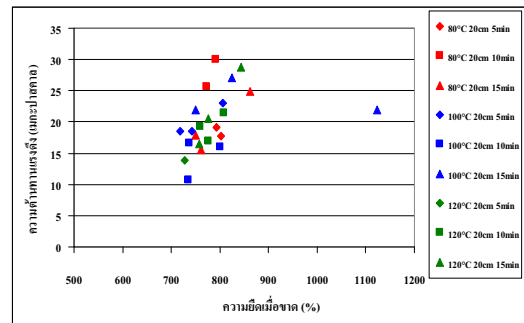
1.5 โครงสร้างเครื่องอบวัลคาไนซียงแบบ
อินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (ภายนอก) ใช้แผ่นเหล็ก
ขนาด 75 x 68 x 62 ซม. (กว้าง x ยาว x ลึก) ประกอบเข้า
ด้วยกัน บุนนนวนหนา 5.08 ซม. ภายในเครื่องอบใช้แผ่นสแตน
เลส หนา 0.5 มม. และส่วนของขาตั้งสูง 5.08 ซม.

2 ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนและเวลาในการ อบวัลคาไนซียง

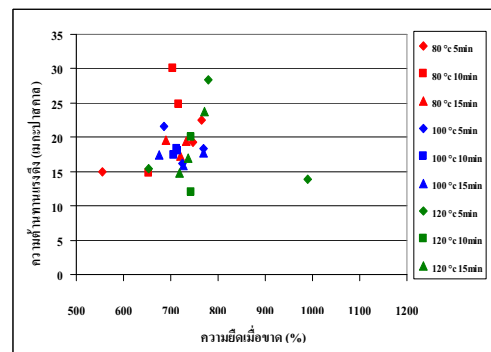
อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบวัลคาไนซียงมือน้อย
ยางถูกวัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K โดยมีปลายสายเทอร์
โมคัปเปิ้ลติดบริเวณกลางแบบพิมพ์ มีผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 4 พบว่าความต้านทานแรงดึงและความยืด
เมื่อขาดของการอบวัลคาไนซียงด้วยอินฟราเรด ที่ระยะห่าง
ระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 ซม. และการอบวัล
คาไนซียงด้วยส้อมร้อนทั้งสองแบบ ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ
ให้ผลอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันคือ ได้ความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วง

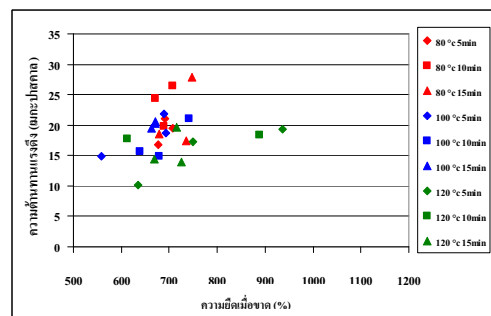
700 ถึง 800 % และค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 15 ถึง 20
MPa



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความ
ยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซียงด้วยอินฟราเรด
ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระยะห่างระหว่างฮี
ตเตอร์ อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 ซม.



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความ
ยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซียงด้วยส้อมร้อน
ร่วมกับการบังคับอากาศ ในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ
ที่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบ
พิมพ์ 25 ซม.



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับ ความ
ยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซียงด้วยส้อมร้อนแบบ
อิสระในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระยะห่างระหว่าง
แหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 27 ซม.

ลักษณะทางกายภาพและสภาพความสุกที่เกิดขึ้นที่ผิวบนฝ่ามือของถุงมือยางพบว่าที่อุณหภูมิ 80 °C อบเป็นเวลา 5 นาที ถุงมือยางจะยังไม่สุก เมื่อสัมผัสจะรู้สึกว่ายังมีความชื้นเหลืออยู่และถุงมือยางมีสีขาวใกล้เคียงกับน้ำยาง ส่วนถุงมือยางที่เวลา 10 นาทีนั้นสุกมากกว่า สีของถุงมือยางมีสีเข้มในบางตำแหน่งมากกว่าและที่เวลา 15 นาทีสีของถุงมือยางมีสีเข้มเกือบเท่ากันทุกตำแหน่งและสุกมากกว่าเมื่อเทียบกับที่เวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

การอบวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 5 นาที เมื่อสัมผัสพบว่าถุงมือยางสุกกว่าการอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 15 นาทีแต่ยังไม่สุกทั้งหมด การถอดถุงมือยางสามารถถอดออกได้ง่ายกว่า ส่วนที่เวลา 10 และ 15 นาที บางตำแหน่งของถุงมือยางเกิดการพองตัวเล็กน้อย อีกทั้งถอดออกจากแบบพิมพ์ได้ยากยิ่งขึ้น สีของถุงมือยางมีความสม่ำเสมอทั้งมือ แต่ไม่สามารถแยกสีได้ชัดเจน เนื่องจากสังเกตสีของถุงมือยางได้เฉพาะตอนออกจากเครื่องอบเท่านั้น

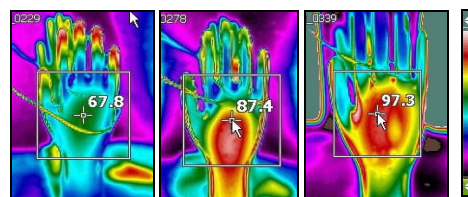
ส่วนการอบวัลคาไนซ์ถุงมือยางที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 5 นาที ถุงมือยางเริ่มสุก และที่เวลาอบวัลคาไนซ์ 10 และ 15 นาที ถุงมือยางเริ่มเกิดการพองตัว

ในการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ ถุงมือยางมีลักษณะการสุกที่เวลาและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด

ส่วนการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระนั้น พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 80 และ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที ถุงมือยางยังไม่สุกจากการวัลคาไนซ์ที่ไม่พอเพียง ส่วนที่ 120 °C อบนาน 15 นาที ถุงมือยางจึงเริ่มสุกแต่ยังคงมีความชื้นเหลืออยู่

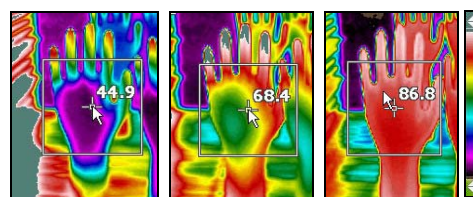
การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด ได้ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ Infrared Solutions รุ่น IR-FLEXCAM™-T เมื่ออบด้วยอุณหภูมิอากาศ 80, 100 และ 120 °C ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 5, 10 และ 15 นาที ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 20 ซม.

จากภาพที่ 7 ถึง 9 เป็นภาพตัวอย่างที่ได้จากการวัดอุณหภูมิถุงมือยางบนแบบพิมพ์ เมื่อนำอุณหภูมิที่ได้ไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 10 ซึ่งให้เห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของถุงมือยางบนแบบพิมพ์ก็มีความเพิ่มมากขึ้น โดยบริเวณที่รับความร้อนของถุงมือยางทั้งหมดจะอยู่ตั้งแต่ปลายนิ้วมือ (P0) จนถึงข้อมือ (P3)



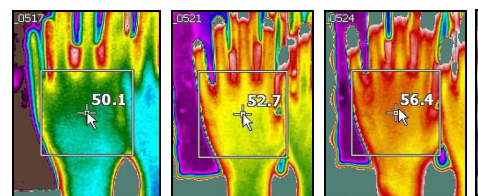
(ก) 5 นาที (ข) 10 นาที (ค) 15 นาที

ภาพที่ 7 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด ในเวลาอบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100°C ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ 25 ซม.



(ก) 5 นาที (ข) 10 นาที (ค) 15 นาที

ภาพที่ 8 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศที่อุณหภูมิ 100 °C ในเวลาต่าง ๆ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 25 ซม.



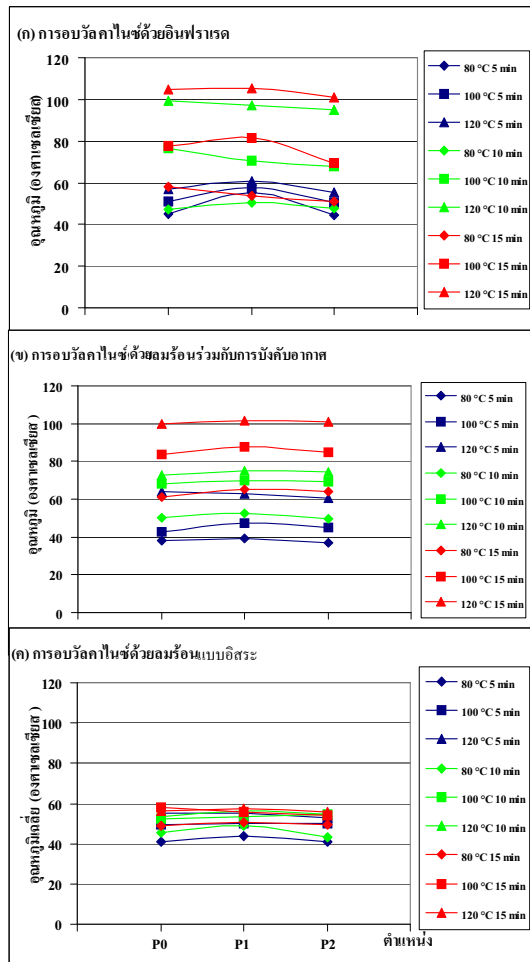
(ก) 5 นาที (ข) 10 นาที (ค) 15 นาที

ภาพที่ 9 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยลมร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิ 100 °C ในเวลาอบต่าง ๆ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับแบบพิมพ์ 27 ซม.

ในการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่เวลา 5 นาที ของทุกอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ พบว่าตำแหน่งกลางฝ่ามือมีอุณหภูมิสูงที่สุด อาจเนื่องจากการได้รับรังสีโดยตรง เมื่อเวลาผ่านไป ที่ปลายนิ้วมือ (P0) จะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามเวลา อีกทั้งมีพื้นที่รับความร้อนน้อย จึงเก็บความร้อนได้ดี

ส่วนการอบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ ที่บริเวณปลายนิ้วมือ (P0) มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งใกล้กับแหล่งกำเนิดความร้อนด้านเพดานตู้ ส่วนการ

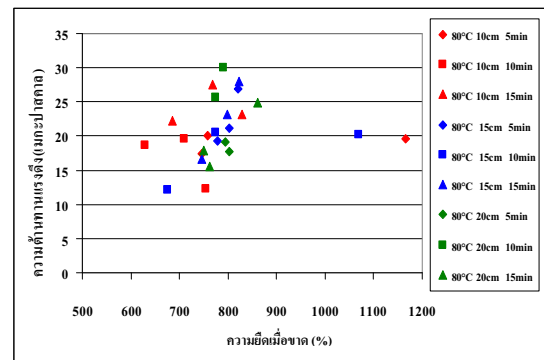
อบวัลคาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศ เส้นกราฟที่ได้มีแนวโน้มเกือบคงที่ น่าจะมีสาเหตุจากการได้รับอากาศร้อนที่มีความเร็วลมที่สม่ำเสมอคือ 1 ม/วินาที



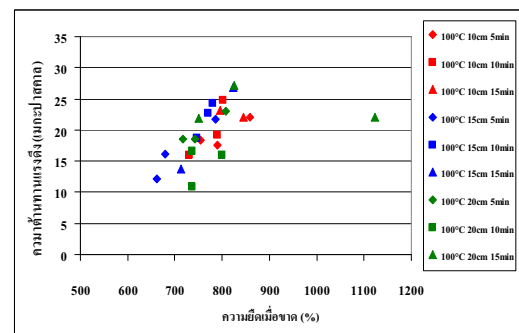
ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบการกระจายความร้อนของการอบวัลคาไนซ์แบบต่าง ๆ

2.3 ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์

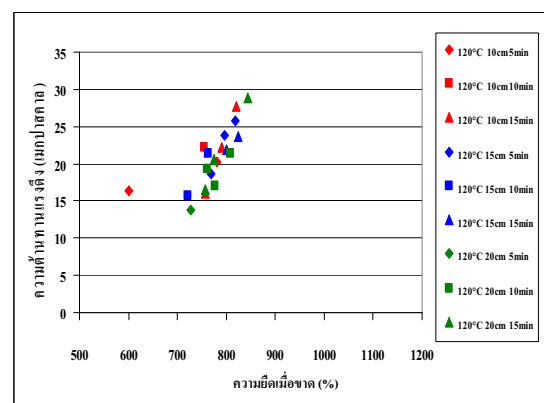
เมื่อพิจารณาการยัดตัวสูงสุดของขนาดภาพที่ 4.11 ถึง 4.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดที่ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่ระยะ 10, 15 และ 20 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการทดสอบที่ 80, 100 และ 120 °C ที่เวลาในการอบ 5 ถึง 15 นาที จากกราฟพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดอยู่ในช่วงค่าเดียวกันคือ ช่วง 15 ถึง 25 MPa และช่วง 700 ถึง 800 % ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 °C ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์และเวลาต่าง ๆ



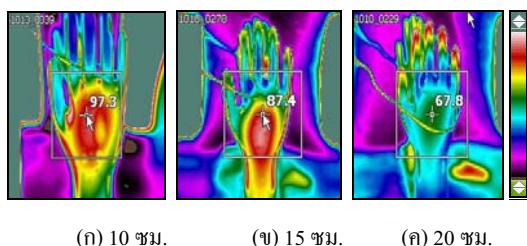
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100 °C ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์และเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับความยืดเมื่อขาดของการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์และเวลาต่าง ๆ

โดยลักษณะทางกายภาพของถุงมือยาง เมื่ออบด้วย อุณหภูมิ 80 °C นาน 5 นาที พบว่าถุงมือยางยังไม่สุก ระยะห่าง 10 และ 15 ซม. พบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกันคือ สีของถุงมือยาง เริ่มมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อยบางตำแหน่งจากการได้รับรังสีใน ระยะใกล้ ส่วนที่ระยะ 20 ซม. สีของถุงมือยางมีสีใกล้เคียงกับ น้ำยาง เมื่อพิจารณาที่เวลา 10 นาทีในทุกระยะการทดสอบคือ 10, 15 และ 20 ซม. ถุงมือยางมีความสุกมากกว่า และสีถุงมือ ยางเข้มมากขึ้นจากการอบที่ 5 นาทีเล็กน้อย ส่วนที่เวลา 15 นาที ของทุกระยะการทดสอบ ได้ผลคือ สีถุงมือยางเข้มขึ้นอีก เล็กน้อยจากเวลาในการอบ 10 นาที โดยที่ระยะ 20 ซม. สีของ ถุงมือยางมีสีเข้มเกือบเท่ากันทุกตำแหน่ง

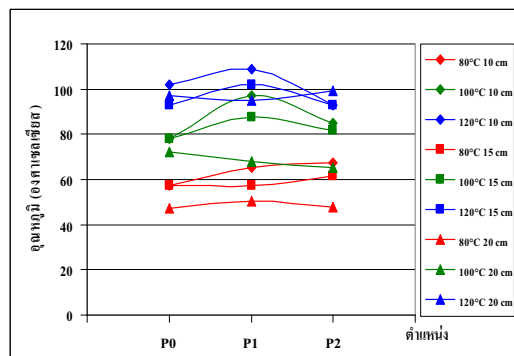
ที่อุณหภูมิ 100 °C อบวัลคาไนซ์ที่เวลา 5 นาทีของ ระยะการทดสอบคือ 10, 15 และ 20 ซม. ถุงมือยางมีความสุก มากกว่าการอบที่อุณหภูมิ 80 °C 15 นาที และสีไม่ต่างกัน ส่วน ที่เวลา 10 นาที พบว่าระยะที่ 10 และ 15 ซม. ถุงมือยางเริ่มเกิด การพองตัวในบางตำแหน่งเพียงเล็กน้อย แต่ผิวบางส่วนของถุง มือยางมีสีเข้มและเข้มในตำแหน่งที่ได้รับรังสีโดยตรง อาจเป็น เพราะระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่อยู่ใกล้ กันเกินไปจึงทำให้ถุงมือยางได้รับรังสีที่ไม่สม่ำเสมอแม้ ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ที่ใกล้กว่าจะ ให้รังสีมากกว่าก็ตาม ที่ระยะห่าง 20 ซม. พบว่าถุงมือยางที่ได้มี สีสม่ำเสมอเกือบทั้งถุงมือยาง อาจเนื่องมาจากการอบวัลคา ไนซ์ยางในระยะนี้ทำให้ยางดูดซับรังสีได้ดีกว่าจากการแผ่รังสี ที่สม่ำเสมอมากกว่า และที่เวลา 15 นาทีของทุกระยะทดสอบ ถุงมือยางให้สีไม่ต่างกับที่เวลาอบ 10 นาที และลักษณะของถุง มือยางที่ได้มีความพองตัวเล็กน้อย



ภาพที่ 4.14 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิและการกระจายความร้อน ของการอบวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ 100 °C 10 นาที ที่ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับ แบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ

ในภาพที่ 4.14 แสดงการกระจายอุณหภูมิของถุงมือ ยางบนแบบพิมพ์ที่อุณหภูมิการอบวัลคาไนซ์ 100 °C นาน 10 นาที ที่ระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะ ต่าง ๆ ซึ่งเห็นว่าที่ระยะ 10 ซม. บริเวณกลางฝ่ามือของถุงมือ

ยางจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบวัล คาไนซ์ หากระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ เพิ่มขึ้นจะพบว่าที่ระยะ 20 ซม. จะมีอุณหภูมิบริเวณกลางฝ่ามือ น้อยกว่าที่ระยะอื่น ๆ ที่อุณหภูมิอบวัลคาไนซ์เดียวกัน



ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างการกระจายความร้อนของการอบวัลคา ไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส 10 นาที และระยะห่างระหว่าง ฮีเตอร์อินฟราเรดกับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.15 ซึ่งเป็นกราฟการ กระจายอุณหภูมิภายในเครื่องอบที่ 80, 100 และ 120 °C อบวัล คาไนซ์นาน 10 นาทีของระยะห่างระหว่างฮีเตอร์อินฟราเรด กับแบบพิมพ์ระยะต่าง ๆ พบว่าที่ระยะ 10 ซม.ของอุณหภูมิทั้ง สาม ให้ค่าการกระจายความร้อน ณ บริเวณแบบพิมพ์ไม่ สม่ำเสมอ โดยบริเวณปลายนิ้วมือ (P1) ได้รับความร้อนน้อย ที่สุด ส่วนที่บริเวณฝ่ามือ (P1) ได้รับความร้อนมากที่สุด โดย ความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอและมีค่าใกล้เคียงกันเกือบทั่ว ทั้งมือที่ระยะห่าง 20 ซม. ซึ่งสม่ำเสมอกว่าที่ระยะ 10 ซม.

สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบ อินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม ได้ผลการทดสอบเพื่อหา ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม โดยเน้นการศึกษาอุณหภูมิอากาศ ร้อน เวลาการอบแห้ง ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงาน กับวัสดุที่ดูดซับ การกระจายอุณหภูมิ และคุณสมบัติของ ผลิตภัณฑ์หลังการอบวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถสรุปผลทดสอบได้ ดังนี้

1. ได้เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มต้นแบบ ประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กมี ขนาดภายนอกเป็น 75 x 68 x 62 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง) ภายในประกอบขึ้นจากแผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มม. มีขนาด เป็น 65 x 58 x 52 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง) โดยขนาดความ

ร้อนระหว่างภายในและภายนอกเครื่องอบหนา 5.08 ซม. ส่วน
ขาเครื่องอบสูงจากพื้น 5.08 ซม. โดยแหล่งกำเนิดความร้อนที่
เหมาะสมคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด
1000 วัตต์ ที่ทำขึ้นจากเซรามิก จำนวน 2 ตัว

2. ทราบระบบการทำงานของเครื่องอบวัลคาไนซ์
ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

2.1 ในการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดสำหรับ
ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม งานวิจัยนี้ได้ทดสอบทำดูมืองที่ได้อายุ
และเงื่อนใยที่เหมาะสม โดยคุณภาพหลังการอบวัลคาไนซ์ดูม
มืองด้วยอินฟราเรดนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี โดยใช้เวลาการ
อบวัลคาไนซ์ในระยะเวลาอันสั้นเพียง 10 นาที

2.2 อุณหภูมิอากาศร้อนในการอบวัลคาไนซ์ดูมมือง
ยางที่เหมาะสมเป็น 100 °C

2.3 ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับผิวหน้า
แบบพิมพ์ควรมีระยะ 20 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่ดูมมืองมีอุณหภูมิ
กระจายสม่ำเสมอเกือบทั่วทั้งแบบพิมพ์

2.4 เครื่องอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดสามารถ
ให้ความร้อนภายในเครื่องอบได้รวดเร็วกว่าการใช้เครื่องอบวัล
คาไนซ์ด้วยลมร้อนร่วมกับการบังคับอากาศและเครื่องอบวัลคา
ไนซ์ด้วยลมร้อนแบบอิสระ เนื่องจากใช้เวลาให้การเพิ่มความ
ร้อนสั้นกว่า และอุณหภูมิภายในที่ได้ยังให้ค่าความร้อนที่
มากกว่า และสามารถกระจายรังสีได้ดีกว่าอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุน
งานวิจัยแห่งชาติ (Small Project on Rubber: SPR) ที่ให้การ
สนับสนุนในการทำโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพาราตลอด
โครงการ ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการ
นี้สำเร็จขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ
วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเพื่อ
สถานที่และเครื่องมือสำหรับการทดสอบในโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐฉา คุชฎี. 2546. การอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรด้วยพลังงาน
เชิงใหม่: ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการ
เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
บุญธรรม นิธิอุทัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง 2.
สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย อติชัย รุ่งวิชานันต์ อาชี
ขัน แกสมาน และวุฒิศักดิ์ ศิริทองถาวร. 2538. เทคโนโลยี
น้ำยาง : สมบัติและผลิตภัณฑ์. สงขลา: ภาควิชา
เทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญธรรม นิธิอุทัย และอติชัย รุ่งวิชานันต์. 2539.

กระบวนการแปรรูปยาง. ปีถัดมา: ภาควิชาเทคโนโลยียาง
และพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เพชรสุรางค์ เจริญศิลป์และศิริพร ปัญญาจักร. 2547. การ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะ
วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหาร

กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุนทร โม่งปรางนิต. 2547. พื้นฐานการอบแห้งด้วยอินฟราเรด.

ใน เอกสารประกอบการเสวนาวิชาการเรื่อง เทคโนโลยี
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อการแปรรูปอาหารและวัสดุ
เชิงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ภาคผนวก ค.

ตารางเทียบวัสดุประสงค์

ตารางสอบเทียบวัตถุประสงค์				
วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ	
1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบการอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มและทดสอบหาสถานะเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุด	1. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด 2. ทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาสถานะเงื่อนไขการอบวัลคาไนซ์ด้วยอินฟราเรด 3. สร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด	1. ศึกษาความรู้เรื่องยางพารา 2. ศึกษาเรื่องวัสดุอินฟราเรด 3. นำความรู้ที่ได้มาศึกษาปัจจัยต่างๆ เพื่อการสร้างเครื่องอบวัลคาไนซ์ยาง 4. ประเมินผลการทดสอบเบื้องต้น	1. ได้รับความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด 2. ได้เครื่องอบวัลคาไนซ์วัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรด 3. ทราบสภาวะเงื่อนไขเบื้องต้นของการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด	
2. เพื่อการนำไปใช้งานเครื่องอบวัลคาไนซ์ยางแบบอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม	1. ใช้เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อการพัฒนาต่อไป 2. เป็นอุปกรณ์ในห้องทดลอง	1. ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ฟองน้ำ ลูกโป่ง ถูยางอนามัย	1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในการอบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ	
3. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรด สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม	1. ทดสอบอบวัลคาไนซ์ยางด้วยอินฟราเรดเพื่อหาตัวแปรต่างๆ	1. ศึกษาหาเวลา, อุณหภูมิ, ระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับวัตถุที่เหมาะสมกับการอบวัลคาไนซ์ยาง	1. ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ยาง 2. ทราบเวลาที่เหมาะสมในการอบวัลคาไนซ์ยาง 3. ทราบระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับวัตถุที่จะอบ	