1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย และการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (literature survey)

ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้เป็นอันดับที่ 1 ของโลกกล่าวคือในปี 2550 มีผลผลิตประมาณ 3.05 ล้านตัน หรือคิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตยางธรรมชาติทั้งหมด สามารถสร้างรายได้มากกว่า 320,568 ล้านบาท โดยการส่งออกเป็นยางดิบ มีมูลค่า 194,357 ล้านบาท และส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ยาง มีมูลค่า 126,211 ล้านบาท ส่วนปริมาณยางที่ใช้ภายในประเทศ มีเพียง 373,659 ตัน หรือประมาณ 10% ของผลผลิตทั้งหมด [1] จะเห็นได้ว่า การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศนั้นยังมีน้อยมาก ซึ่งการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถเพิ่มมูลค่าได้หลายเท่าตัว จึงมีหน่วยงานต่าง ๆ ได้พยายามส่งเสริมให้เกษตรกรชาวสวนยางแปรรูปยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ให้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ยางที่กลุ่มเกษตรกรนิยมทำกันทั่วไปคือการทำยางฟองน้ำในรูปของของชำร่วย ตุ๊กตา พวงกุญแจ ซึ่งเป็นการทำผลิตภัณฑ์ยางในครัวเรือน ปริมาณผลิตภัณฑ์จำนวนน้อย ใช้เงินลงทุนต่ำ แต่ปัญหาที่พบในการทำผลิตภัณฑ์คือการให้ความร้อนเพื่อการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำนั้น ในปัจจุบันใช้วิธีการอบด้วยไอน้ำ ซึ่งไม่สะดวกและใช้เวลานาน

กระบวนการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางด้วยไมโครเวฟ ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมยางเมื่อต้นปี 1970 โดยนำมาใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางจากยางแห้งที่ได้จากการดันยางผ่านหัวแบบ ซึ่งเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง [2] ข้อจำกัดในการใช้ไมโครเวฟในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางคือ ยางที่ใช้จะต้องเป็นยางที่มีความเป็นขั้วสูง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้สนามไมโครเวฟ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับสภาพขั้วของผลิตภัณฑ์ยาง ดังนั้น ยางที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟคือยางที่มีความเป็นขั้ว เช่นยางสังเคราะห์คลอโรพรีนและยางไนไตรล์ เป็นต้น แต่สำหรับยางที่ไม่มีขั้วโดยเฉพาะยางธรรมชาตินั้น จำเป็นต้องเติมสารเคมีที่มีขั้วผสมกับยางเพื่อเพิ่มความเป็นขั้วของผลิตภัณฑ์ จึงสามารถวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟได้ [3]

จากการศึกษางานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารต่าง ๆ ยังไม่พบการนำไมโครเวฟมาใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ จากความรู้พื้นฐานของการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางด้วยไมโครเวฟและความรู้พื้นฐานในเรื่องของสมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [4,5] มีความเป็นไปได้ที่จะนำไมโครเวฟมาใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากในสถานะน้ำยาง มีน้ำเป็นตัวกลางซึ่งมีความเป็นขั้วสูง สามารถดูดซับพลังงานจากสนามไมโครเวฟได้ และถ้าเป็นไปได้การวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟนี้จะสะดวกและรวดเร็วกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยการใช้ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนอื่นๆ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบธรรมดาที่ใช้ในการประกอบอาหารตามครัวเรือนทั่วไป นำมาใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อการทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำขนาดเล็กอย่างง่าย เน้นการสร้างงานให้กับกลุ่มเกษตรกรและยังเป็นการเพิ่ม

มูลค่าของยางธรรมชาติอีกทางหนึ่งด้วย โดยจะได้ทำการศึกษาหาสูตรน้ำยางคอมปาวด์ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ และสมบัติพื้นฐานของยางฟองน้ำที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการวัลคาไนซ์ที่ใช้ทั่วไป คือการอบด้วยไอน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติด้วยไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางธรรมชาติ

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

ยางฟองน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากน้ำยาง ซึ่งในที่นี้ใช้น้ำยางธรรมชาติ โดยนำน้ำยางธรรมชาติมาผสมสารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง สารตัวกระตุ้น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ สารช่วยในการเกิดฟอง สารช่วยในการเกิดเจล เป็นต้น ได้เป็นน้ำยางคอมปาวด์ จากนั้นนำไปเข้าเครื่องปั่นเพื่อให้เกิดฟองในน้ำยาง แล้วเทลงแบบพิมพ์ นำไปให้ความร้อนเพื่อทำให้ยางคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ เมื่อถอดชิ้นตัวอย่างยางออกจากเบ้าพิมพ์ จะได้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำตามต้องการ

วิธีการ

1. การเตรียมสารเคมี สารเคมีที่ใช้เติมลงในน้ำยางจะต้องอยู่ในรูปของของเหลวได้แก่ สารละลาย สารดิสเพอร์สชัน สารอิมัลชัน ขึ้นกับธรรมชาติของสารเคมีนั้น
2. เตรียมน้ำยางผสมสารเคมีตามสูตรที่กำหนด โดยเติมสารเคมีที่เตรียมในข้อ 1 ลงไปในน้ำยางตามลำดับขั้นตอนและปริมาณตามสูตรที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องปั่นเพื่อให้เกิดฟองอากาศในน้ำยาง
3. นำน้ำยางคอมปาวด์ที่เกิดฟองแล้ว ไปเทลงในเบ้าพิมพ์ แล้วทำการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องไมโครเวฟ
4. ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่ได้ เช่น ความสม่ำเสมอของเนื้อยางฟองน้ำความหนาแน่น การยุบตัว ความแข็งแรง ตลอดจน การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อดูรายละเอียดของเนื้อโฟม
5. จากสมบัติของยางฟองน้ำที่ได้ นำไปทำการแปรค่าต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดียิ่งขึ้น

ตัวแปรที่ต้องปรับเปลี่ยนเพื่อการศึกษาได้แก่ สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ผสมลงในน้ำยางทั้งชนิดสารเคมีและปริมาณ เวลาในการวัลคาไนซ์ ความแรงของสนามไมโครเวฟ ชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นเบ้าพิมพ์ ฯลฯ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เตรียมผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการแปรสูตรส่วนผสมเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

1.4.2 ทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ความต้านทานต่อแรงดึง ฯลฯ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ลดเวลาในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติได้

1.5.2 เป็นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางชนิดอื่น ๆ ได้

1.5.3 เป็นประโยชน์ต่อประชาชนที่ผลิตยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ

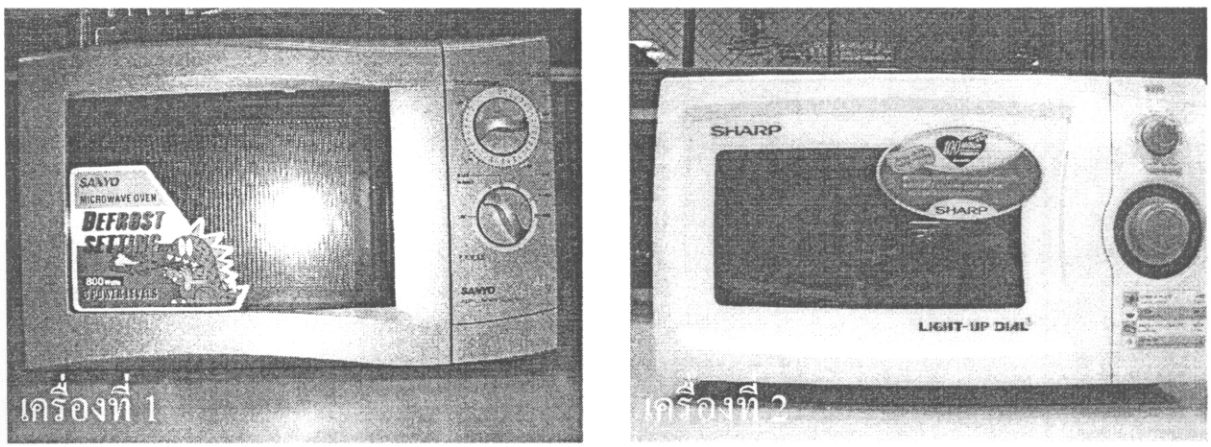
2. การทดลอง

2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

น้ำยางธรรมชาติชนิดข้น ชนิดแอมโมเนียต่ำ (LA-TZ)

Zinc oxide (ZnO), Sulphur (S), Zinc-N-diethyldithio-carbamate (ZDEC), Zinc-2-mercaptobenzothiazole (ZMBT), Diphenyl guanidine (DPG), Lovinox antioxidant, Bentonite, Valtamol, Sodiumsilicofluoride(SSF) และ Calcium carbonate ($CaCO_3$) สารเคมีทั้งหมดเตรียมให้อยู่ในรูป dispersion สั่งซื้อมาจากบริษัท ลักกี้โฟร์ จำกัด จ.นนทบุรี

เตาอบไมโครเวฟ เครื่องที่ 1 ยี่ห้อ SANYO รุ่น S1063 เตาอบไมโครเวฟ เครื่องที่ 2 ยี่ห้อ SHARP รุ่น R 246 (ภาพที่ 1) เครื่องปั่น แบบปรับระดับได้ 3 ระดับ ยี่ห้อ House Worth รุ่น HW-942GS หม้ออบไอน้ำ เตาอบ ยี่ห้อ Memmert D06058 Model 200



ภาพที่ 1 แสดงภาพเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำ

ตารางที่ 1 แสดงกำลังไฟ (วัตต์) ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ของเตาอบไมโครเวฟเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

ระดับพลังงาน	กำลังไฟ (วัตต์)	
	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2
HIGH	800	800
MEDIUM HIGH	650	560
MEDIUM	500	400
MEDIUM LOW	400	240
LOW	80	80

2.2 สูตรน้ำยางผสมสารเคมี

การศึกษานี้ ใช้น้ำยางธรรมชาติชนิดข้น (60% DRC) และสารเคมีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสูตรของน้ำยางผสมสารเคมีที่ใช้ในการทำยางฟองน้ำ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% LA – Latex	100.00	167.00
20% Potassium oleate	1.30	6.50
50% Sulphur Dispersion	2.50	5.00
50% ZDEC Dispersion	1.00	2.00
50% ZMBT Dispersion	1.00	2.00
50% Antioxidant Dispersion	1.00	2.00
50% ZnO Dispersion	5.00	10.00
33% DPG Dispersion	1.20	3.50
12.5% SSF Dispersion	0.90	7.00
75% $CaCO_3$ Dispersion	3.00,4.00, 4.50	4.00, 5.33, 6.00

2.3 การเตรียมยางฟองน้ำ

เตรียมน้ำยางข้นและสารเคมี โดยชั่งน้ำหนักตามสูตร แล้วนำมาเข้าเครื่องปั่นเพื่อผสมน้ำยางกับสารเคมี และทำให้เกิดฟองอากาศในน้ำยาง โดยการเติมสารเคมีและปรับระดับความเร็วของเครื่องปั่นตามลำดับในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงลำดับของการเติมสารเคมี ระดับของความเร็วในการปั่น และเวลาในการผสมกับน้ำยางกับสารเคมี

สารเคมี	ระดับความเร็วของการปั่น	เวลาของการปั่น
น้ำยางข้น	2	3 นาที
Potassium oleate	3	3 นาที
Sulphur, ZDEC, ZMBT, Antioxidant	2	3 นาที
DPG	1	1 นาที
ZnO	1	2 นาที
SSF	1	15 วินาที

เมื่อได้น้ำยางที่เกิดฟองแล้ว ให้เทลงในเบ้าพิมพ์ทันที แล้วนำไปอบในเตาอบไมโครเวฟหรือหม้ออบไอน้ำ เพื่อให้ยางฟองน้ำเกิดการคงรูป ตามสภาวะที่กำหนด (กรณีอบด้วยไอน้ำ ใช้เวลา 30 นาที) จากนั้นแกะยางฟองน้ำออกจากเบ้าพิมพ์ ล้างน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสารเคมีที่เหลือออกไป แล้วนำไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง

2.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

ทำการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำที่อยู่ในเบ้าพิมพ์ ซึ่งในการทดลอง เลือกใช้เบ้าพิมพ์เป็นบีกเกอร์ ซึ่งทำมาจากแก้วทนความร้อน มีรูปทรงเป็นทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตรและความสูง 9 เซนติเมตร ให้พลังงานโดยการแปรเปลี่ยนระดับพลังงานของเตาอบไมโครเวฟ เครื่องที่ 1 (ยี่ห้อ SANYO รุ่น S1063) ที่ระดับ Medium (M), Medium High (MH), High (H) และแปรเปลี่ยนเวลาของการให้พลังงานที่แต่ละระดับพลังงาน ทุก ๆ 1 นาที ตั้งแต่ 1-15 นาที จากนั้น พิจารณาลักษณะทางกายภาพของยางฟองน้ำในเบ้าพิมพ์ หากชิ้นยางฟองน้ำที่ได้มีลักษณะทางกายภาพภายนอกและความยืดหยุ่นที่ดี จะตัดชิ้นตัวอย่างนั้นเพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของฟองอากาศในยางฟองน้ำ ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของการวัลคาไนซ์ของยางฟองน้ำที่ได้ และจะใช้สภาวะที่เหมาะสมนี้เป็นสภาวะสำหรับการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำด้วยไมโครเวฟต่อในตลอดการศึกษาครั้งนี้

สำหรับตัวอย่างยางฟองน้ำที่ผ่านการวัลคาไนซ์ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด จะนำไปทดสอบสมบัติการหดตัว ความหนาแน่น และการจัดตัวจากแรงอัดต่อไป โดยการเปรียบเทียบกับยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทั่วไปคือการอบไอน้ำ

2.5 การทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำ

2.5.1 การทดสอบการหดตัว

เป็นการวัดปริมาตรของยางฟองน้ำที่ได้เปรียบเทียบกับปริมาตรของเบ้าพิมพ์ แล้วรายงานผลในรูปร้อยละของการหดตัว

$$\text{ร้อยละของการหดตัว} = 100 - \left[V_1/V_2 \times 100\right] \quad (1)$$

โดยที่ V_1 คือ ปริมาตรของยางฟองน้ำที่ได้ และ V_2 คือปริมาตรของเบ้าพิมพ์

2.5.2 การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 3574 – 95 โดยการตัดชิ้นฟองน้ำให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 2.0×2.0×2.0 cm. และนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และคำนวณหาความหนาแน่นของยางฟองน้ำ ดังนี้

$$D = M / V \quad (2)$$

โดยที่ D คือความหนาแน่น (g/cm^3) M คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g) V คือปริมาตรของชิ้นงาน (cm^3)

2.5.3 การทดสอบการจัดตัวจากแรงอัด (Compression set) ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1425-2540 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางฟองน้ำลาเทกซ์ โดยการตัดชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกดแล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ (t_1) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปวางในชุดทดสอบ แล้วเลื่อนแผ่นชุดทดสอบทั้งสองเข้าหากัน จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกกดจนมีความหนาลดลงเหลือ 50% ของความหนาเดิม ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบออกจากชุดทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_2) นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าการจัดตัวจากแรงอัด ดังนี้

$$\text{การจัดตัวจากแรงอัด (\%)} = \left\{ (t_1 - t_2)/ t_1 \right\} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ t_1 คือ ความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm.)

t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (mm.)

2.6 การศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ

2.6.1 วัสดุที่ใช้ทำแบบพิมพ์

ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำ โดยใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำมาจากวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ แก้ว พลาสติก (Polypropylene) เซรามิกซ์ และปูนพลาสเตอร์ จากนั้นศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทดสอบสมบัติการหดตัว ความหนาแน่นและการจัดตัวจากแรงอัดของยางฟองน้ำที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ในเบ้าพิมพ์ที่ทำมาจากวัสดุ 4 ชนิดเช่นเดียวกัน ด้วยวิธีการทั่วไปคือการอบด้วยไอน้ำ

2.6.2 ผลของการใช้สารตัวเติม $CaCO_3$

ทำการศึกษาการผสมสารตัวเติม $CaCO_3$ ลงในน้ำยางคอม-ปาวด์แล้วนำไปทำยางฟองน้ำเช่นเดียวกันกับวิธีที่ได้กล่าวไปแล้ว จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที นำยางฟองน้ำที่ได้ไปทดสอบสมบัติ การหดตัว ความหนาแน่น และการจัดตัวจากแรงอัด

2.6.3 ชนิดของเตาอบไมโครเวฟ

ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำโดยการใช้เตาอบไมโครเวฟที่ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันที่ผลิตโดยบริษัทอื่น ซึ่งในการทดลองนี้ ใช้เตาอบไมโครเวฟ เครื่องที่ 2 (ยี่ห้อ SHARP รุ่น R 246) แล้วทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับที่ศึกษาโดยใช้เตาอบไมโครเวฟเครื่องที่ 1

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

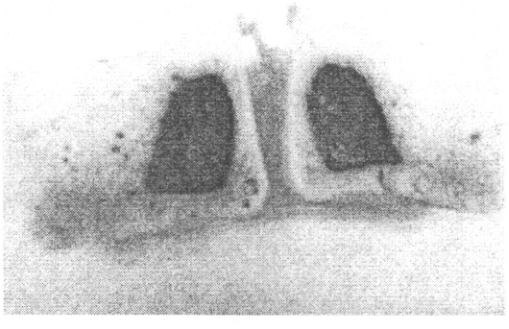
3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

จากการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำที่อยู่ในเบ้าพิมพ์ โดยการแปรเปลี่ยนระดับของการให้พลังงานของเครื่องไมโครเวฟและเวลา ได้ผลดังนี้

ที่ระดับพลังงาน Medium (M) พบว่า จะต้องใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นานมากและยางฟองน้ำที่ได้มีลักษณะของการวัลคาไนซ์ที่ไม่สม่ำเสมอ เนื้อโฟมยางบางส่วนเกิดการวัลคาไนซ์แล้ว ในขณะที่บางส่วนยังไม่เกิดการวัลคาไนซ์มีลักษณะเป็นของเหลว

ที่ระดับพลังงาน Medium High (MH) พบว่า เมื่อใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ 7 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่มีสมบัติดี กล่าวคือ ภายนอก มีลักษณะพื้นผิวเรียบ รูปทรงตรงตามรูปทรงของเบ้าพิมพ์ เมื่อกดหรือบีบแล้วปล่อย ชิ้นยางฟองน้ำสามารถกลับคืนตัวเหมือนรูปทรงเริ่มต้นได้เร็วและสมบูรณ์ ภายในชิ้นยางฟองน้ำ มีลักษณะของฟองอากาศที่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งชิ้นของยางฟองน้ำ

ที่ระดับพลังงาน High (H) พบว่า ฟองน้ำที่ได้มีลักษณะของการวัลคาไนซ์ที่ไม่สม่ำเสมอ เนื้อโฟมยางภายในเกิดการไหม้ ในขณะที่ภายนอกยังวัลคาไนซ์ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2

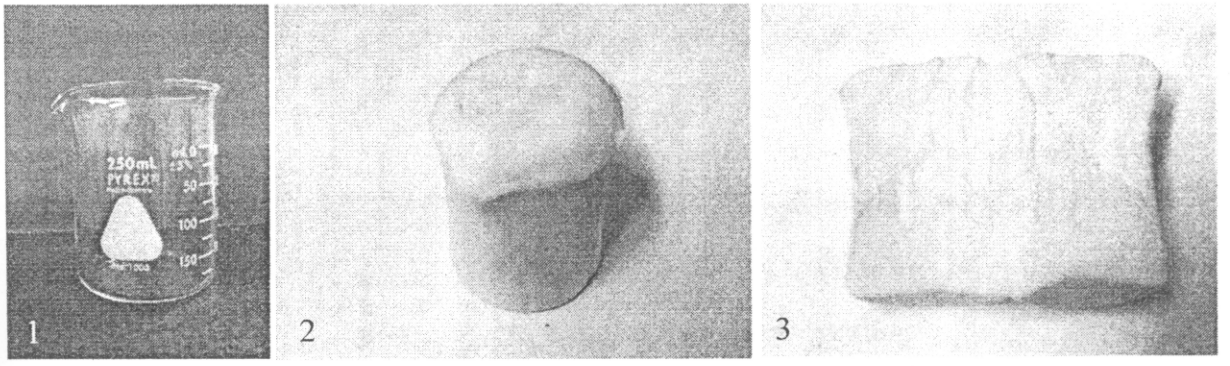


ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน High (H)

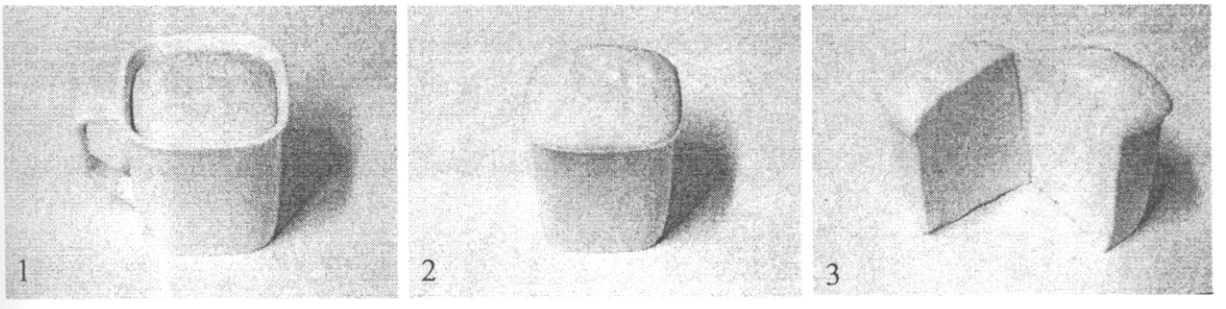
ดังนั้นที่ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จึงเลือกใช้สภาวะที่ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที เป็นสภาวะที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำด้วยไมโครเวฟในการศึกษาต่อไป

3.2 การศึกษาผลของชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเบ้าพิมพ์

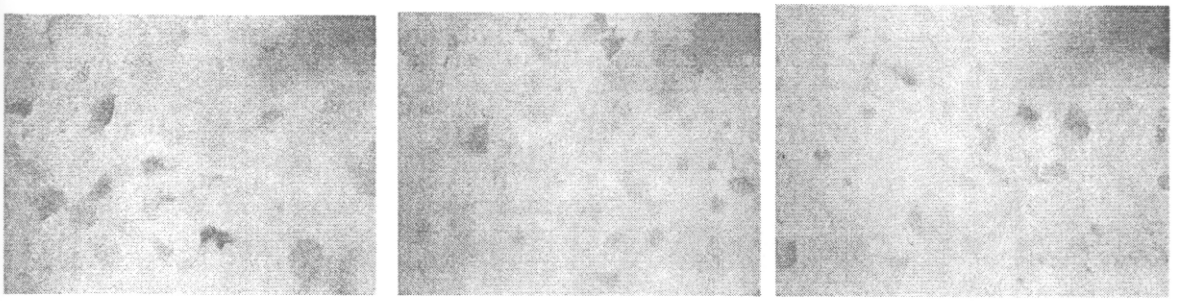
จากการศึกษา เลือกใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำจากวัสดุ 4 ชนิดที่สามารถใช้กับเตาอบไมโครเวฟได้ ได้แก่ แก้ว พลาสติก (polypropylene) เซรามิกซ์ และปูนพลาสเตอร์ โดยเลือกเบ้าพิมพ์ให้มีรูปทรงและขนาดของช่องว่างในเบ้าพิมพ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ความหนาของเบ้าพิมพ์ยังมีความแตกต่างกัน แล้วทำการศึกษาโดยการนำเบ้าพิมพ์แต่ละชนิดมาเติมน้ำยางที่ปั่นให้เกิดฟองแล้ว นำไปวัลคาไนซ์ที่สภาวะ ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที พบว่า เมื่อใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำมาจากวัสดุต่างชนิดกัน จะได้ชิ้นยางฟองน้ำที่มีลักษณะของการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์เหมือนกันคือ มีลักษณะภายนอกและความยืดหยุ่นของยางฟองน้ำที่ดี มีผิวเรียบ ลักษณะของฟองอากาศในชิ้นยางฟองน้ำมีความสม่ำเสมอดี ดังแสดงตัวอย่างของยางฟองน้ำที่ได้ในภาพที่ 3 ภาพที่ 4 และภาพที่ 5 จากนั้นนำตัวอย่างยางฟองน้ำที่ได้ไปทดสอบสมบัติอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่น การหดตัว การจัดตัวจากแรงอัด เป็นต้น ชิ้นยางฟองน้ำที่ได้จากเบ้าพิมพ์ชนิดต่าง ๆ จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำจากแก้ว



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำจากพลาสติก Polypropylene

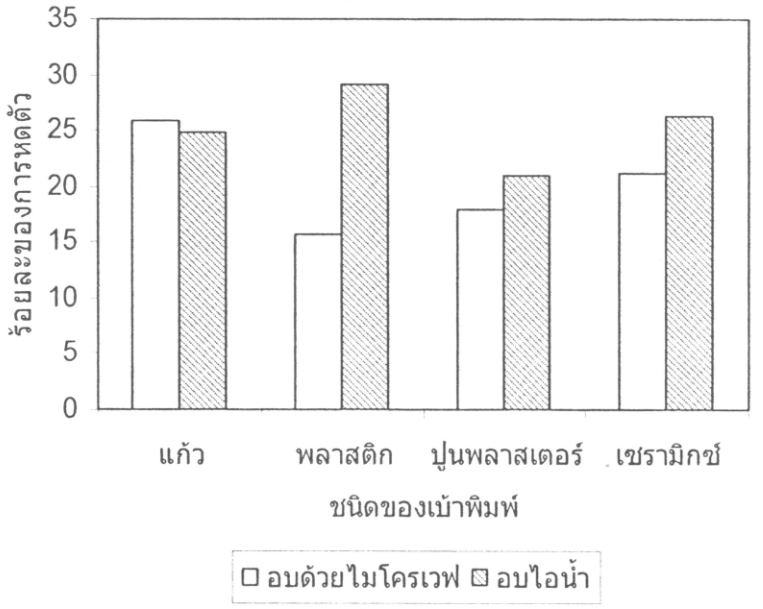


แก้ว ปูนพลาสเตอร์ พลาสติก

ภาพที่ 5 แสดงภาพขยายของตัวอย่างยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำจากแก้ว ปูนพลาสเตอร์ และพลาสติก Polypropylene

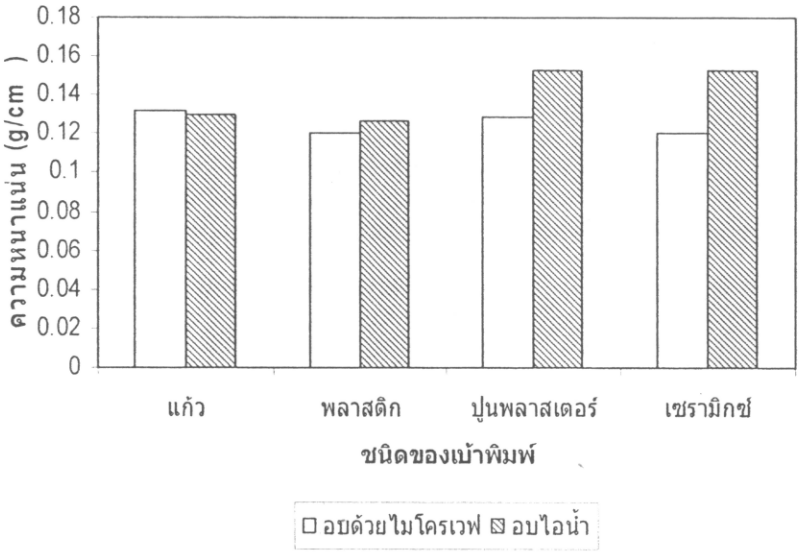
3.3 การทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

3.3.1 การหดตัวของยางฟองน้ำ



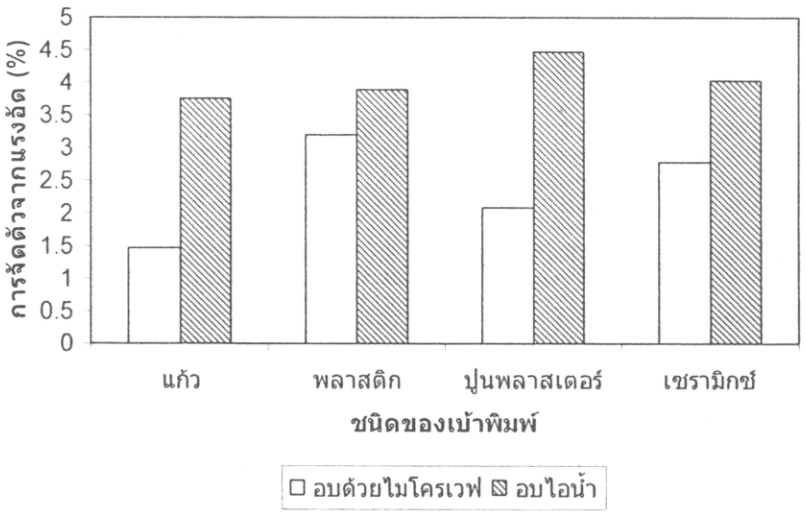
ภาพที่ 6 แสดงร้อยละของการหดตัวของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบการอบด้วยไอน้ำโดยใช้เบ้าพิมพ์ที่แตกต่างกัน

3.3.2 ความหนาแน่นของยางฟองน้ำ



ภาพที่ 7 แสดงความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบการอบด้วยไอน้ำ โดยใช้เบ้าพิมพ์ที่แตกต่างกัน

3.3.3 การจัดตัวจากแรงอัด (Compression set)



ภาพที่ 8 แสดงค่าการจัดตัวจากแรงอัดของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบการอบด้วยไอน้ำโดยใช้เบ้าพิมพ์ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลอง ตามภาพที่ 6 - ภาพที่ 8 พบว่า เมื่อใช้เบ้าพิมพ์ที่ทำจากวัสดุทั้ง 4 ชนิด ยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟมีสมบัติการหดตัว ความหนาแน่น และการจัดตัวจากแรงอัดของยางฟองน้ำที่ได้ ดีกว่ายางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยการอบไอน้ำ กล่าวคือ มีการหดตัวและการจัดตัวจากแรงอัดน้อยกว่า ส่วนความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น เบ้าพิมพ์ที่ทำจากวัสดุทั้ง 4 ชนิดนี้ สามารถนำมาใช้เป็นเบ้าพิมพ์ในการทำยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติได้ แต่เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อการทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำโดยเน้นวิธีการที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว สำหรับกลุ่มเกษตรกรขนาดเล็ก ใช้งบประมาณการลงทุนต่ำ จึงเลือกเบ้าพิมพ์ที่ทำจากปูนพลาสเตอร์ ซึ่งเป็นเบ้าพิมพ์ที่เตรียมได้ง่าย สะดวก รวดเร็วและราคาถูก แต่ปัญหาของเบ้าพิมพ์ปูนพลาสเตอร์คือ อายุการใช้งานสั้น จากการทดลองสามารถใช้งานได้เพียง 6 ครั้งจะเกิดการแตกหัก ดังนั้น จึงได้หาวิธีการเพิ่มอายุการใช้งานของเบ้าพิมพ์ปูนพลาสเตอร์ โดยการเติมเส้นใยมะพร้าวผสมกับปูน พลาสเตอร์ พบว่า เบ้าพิมพ์ที่ได้ สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้นคือ จำนวน 22 ครั้ง ซึ่งมากเพียงพอ เมื่อเปรียบเทียบกับความง่าย สะดวก รวดเร็วและราคาที่ถูกของเบ้าพิมพ์ปูนพลาสเตอร์

3.4 ผลของการใช้สารตัวเติม $CaCO_3$

ทำการศึกษาโดยการเพิ่มสารตัวเติม $CaCO_3$ ลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์ โดยเลือกใช้เบ้าพิมพ์ปูนพลาสเตอร์ แล้วนำไปวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที พบว่า ยางฟองน้ำที่ได้มีสมบัติดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลของ $CaCO_3$ ต่อสมบัติของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับพลังงาน MH เวลา 7 นาที

ปริมาณ $CaCO_3$ (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การหดตัว (%)	การจัดตัวจากแรงอัด (%)
0	0.129	17.820	2.090
3	0.186	43.316	19.577
4	0.393	22.982	27.964
4.5	0.399	22.742	44.401

เมื่อใช้สารตัวเติม $CaCO_3$ พบว่า ลักษณะภายนอกของชิ้นยางฟองน้ำที่ได้มีผิวเรียบขึ้นและมีความหนาแน่นมากขึ้นตามปริมาณของ $CaCO_3$ ที่เติมลงไป แต่ค่าการจัดตัวจากแรงอัดและการหดตัวของยางฟองน้ำจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เป็นการแสดงว่า ในกรณีที่ต้องการยางฟองน้ำที่มีความหนาแน่นมากขึ้น สามารถ

ปรับสมบัติความหนาแน่นของยางฟองน้ำให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ โดยการใช้สารตัวเติม $CaCO_3$ แต่ก็ต้องคำนึงถึงค่าการจัดตัวจากแรงอัดและการหดตัวของยางฟองน้ำจะที่จะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

3.5 ชนิดของเตาอบไมโครเวฟ

ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบกับการใช้เตาอบไมโครเวฟที่ผลิตโดยบริษัทอื่น คือ ยี่ห้อ SHARP รุ่น R 246 (กำหนดให้เป็นเครื่องที่ 2) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟ (วัตต์) ที่ระดับพลังงาน ต่าง ๆ พบว่า มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อทำการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำด้วยไมโครเวฟเครื่องที่ 2 โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์เช่นเดียวกันกับไมโครเวฟเครื่องที่ 1 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เตาอบไมโครเวฟเครื่องที่ 2 คือ ที่ระดับพลังงาน MH เวลา 9 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่า เครื่องที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำที่สภาวะที่เหมาะสม จากตารางที่ 5

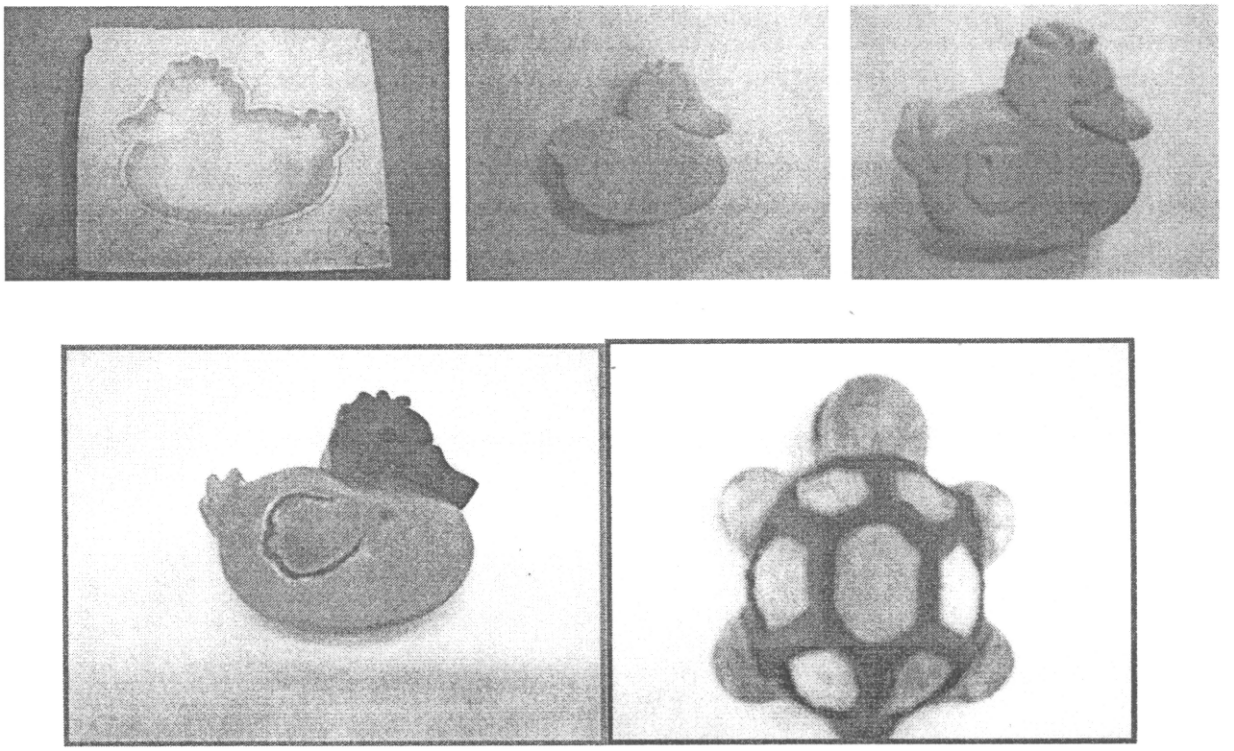
ตารางที่ 5 แสดงพลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำที่สภาวะที่เหมาะสม ของเตาอบไมโครเวฟเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

เตาอบไมโครเวฟ	กำลังไฟ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาที)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
เครื่องที่ 1	650	7	0.076
เครื่องที่ 2	560	9	0.084

พบว่า ที่ระดับพลังงาน MH ของไมโครเวฟเครื่องที่ 2 ให้กำลังไฟ 560 วัตต์ ซึ่งน้อยกว่าไมโครเวฟเครื่องที่ 1 ที่ให้กำลังไฟ 650 วัตต์ จึงทำให้การใช้เตาอบไมโครเวฟเครื่องที่ 2 ต้องใช้เวลาที่มากกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5 พบว่า พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ที่สภาวะที่เหมาะสมของเตาอบไมโครเวฟทั้ง 2 เครื่อง มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า เตาอบไมโครเวฟแบบธรรมดาที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไป สามารถนำมาใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติได้ แต่จะต้องมีการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้จริงต่อไป

4. การประยุกต์นำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำอื่น ๆ

จากการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติด้วยไมโครเวฟที่กล่าวไปแล้วนั้น สามารถนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำอื่น ๆ พบว่าสามารถทำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำได้ตามที่ต้องการ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่วัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พลังงานไมโครเวฟ จากเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ประกอบอาหารในครัวเรือนทั่วไป สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติได้ ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำที่ได้มีสมบัติที่ดีเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งาน เช่น การทำตุ๊กตายางฟองน้ำ ตุ๊กตาติดพวงกุญแจ เป็นต้น

2. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลองคือที่ระดับพลังงาน Medium High (กำลังไฟฟ้า 650 วัตต์) เวลา 7 นาที โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 0.076 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (หน่วย) ซึ่งมีความสะดวกมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ การอบด้วยไอน้ำ

3. ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟนี้ มีสมบัติการหดตัว ความหนาแน่น และการจัดตัวจากแรงอัด ดีกว่ายางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ การอบด้วยไอน้ำ

4. การใช้สารตัวเติมคือ $CaCO_3$ สามารถใช้ปรับความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้และยางฟองน้ำที่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สารตัวเติม $CaCO_3$ นี้ จะมีผลกระทบต่อสมบัติการหดตัวและ การจัดตัวจากแรงอัดของยางฟองน้ำที่ได้ด้วย ดังนั้น ในการใช้งานจริง จำเป็นต้องคำนึงถึงสมบัติที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้ด้วย

6. ข้อเสนอแนะและข้อมูลเพิ่มเติม

1. เบ้าพิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ทำมาจากวัสดุต่างชนิดกัน แต่ยังมีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาของเบ้า ซึ่งอาจมีผลต่อกระบวนการวัลคาไนซ์ ทำให้การเปรียบเทียบผลยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ ได้กล่าวไว้แล้วว่า เน้นที่ความสามารถในการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟในครัวเรือนมาใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งจากผลงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นแล้วว่าสามารถนำมาใช้ได้จริง

2. การเปรียบเทียบการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำด้วยไมโครเวฟกับการอบไอน้ำ

2.1 ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำในแต่ละครั้ง พบว่าการใช้เตาอบไมโครเวฟ การวัลคาไนซ์ยางฟองน้ำ 1 ครั้ง (ตัวอย่าง 1-3 ชิ้น) ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.076 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (หน่วย) คิดเป็นเงินประมาณ 20 สตางค์ (คิดจากค่าไฟฟ้า หน่วยละ 2.77 บาท) แต่ในส่วนของการอบไอน้ำ โดยใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่นก๊าซหุงต้ม จะต้องใช้ก๊าซหุงต้มเพื่อต้มน้ำให้เดือดแล้วใช้ในการวัลคาไนซ์ต่อไปอีก 30 นาที ผู้วิจัยไม่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ แต่ผู้วิจัยคิดว่า น่าจะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้ไมโครเวฟ และปัจจุบัน ราคาก๊าซหุงต้มมีแนวโน้มจะปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.2 ความสะดวกและความรวดเร็ว พบว่าการใช้วิธีการอบด้วยไอน้ำนั้น จะต้องสิ้นเปลืองพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อใช้ต้มน้ำให้เดือดก่อน จึงจะทำการอบเพื่อวัลคาไนซ์ได้และใช้เวลาวัลคาไนซ์ 30 นาที แต่การใช้เตาอบไมโครเวฟ สามารถวัลคาไนซ์ได้ทันที และใช้เวลาน้อยกว่าคือ ใช้เวลา 7 นาที การวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟจึงมีความสะดวกและรวดเร็วกว่า

2.3 อุปกรณ์ สำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยไมโครเวฟ มีเครื่องไมโครเวฟ ซึ่งมีขนาดและน้ำหนักไม่มาก แต่การอบด้วยไอน้ำจะต้องมี ถังก๊าซ หัวเตาก๊าซ และหม้อนึ่ง ซึ่งมีหลายชิ้น และน้ำหนักมากกว่าเตาอบไมโครเวฟ ส่วนในเรื่องอายุการใช้งานนั้น ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยประมาณ 2 ปี เตาอบไมโครเวฟสามารถใช้งานได้ตามปกติ ไม่มีการเสียหรือเสื่อมสภาพแต่อย่างใด แต่การใช้เตาอบไมโครเวฟมีข้อจำกัดคือจะต้องใช้ไฟฟ้า ส่วนการอบด้วยไอน้ำ ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า สามารถนำไปใช้ทุกที่ได้