การผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบ

Extruded Latex Thread Production by Pilot Model Machine

วิภาวี พัฒนกุล [1] วิชัย โอภานุกูล [2] นุชนาฏ ณ ระนอง [1]
ณพรัตน์ วิชิตชลชัย [3]

[1] สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
[2] สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
[3] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การผลิตเส้นด้ายยางโดยใช้เทคนิคการอัดน้ำยางที่ผสมสารไวต่อความร้อน (heat-sensitive agent) ผ่านหัวแม่แบบแล้วทำให้น้ำ ยางขึ้นรูปเป็นเจลเส้นด้ายยางเมื่อได้รับความร้อนจากแม่แบบ แทนการขึ้นรูปน้ำยางด้วยการใช้กรด แม่แบบเส้นด้ายยางที่พัฒนาขึ้นมามีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นด้ายยาง 3 ขนาด คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร

สภาวะเบื้องต้นสำหรับผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องต้นแบบ ใช้สารไวต่อความร้อนพอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์เข้มข้น 10 % จำนวน 4 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน อุณหภูมิเย็นและร้อนของแม่แบบ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ได้เจลเส้นด้ายยางต่อเนื่อง แล้วอบเจลเส้นด้ายยางให้คงรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที การผสม 50% แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อลดต้นทุนในสูตรผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน สามารถผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบได้ แต่ในบางครั้งเมื่อปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2 – 5 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน เกิดการตันของเจลเส้นด้ายยางในสายท่อลำเลียงและแม่แบบ

คำนำ

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในระดับอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่มีเทคโนโลยีการผลิตหลักๆ คือ การจุ่ม (Dipping) การตีฟอง (Foaming) การหล่อ (Casting) และการขับดันผ่านแม่แบบ (Extrusion) ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้จะผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสัดส่วนมากในตลาด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เบาะฟองน้ำ และเส้นด้ายยืด เป็นต้น ดังนั้นเทคโนโลยีดังกล่าวนี้จึงค่อนข้างเป็นที่แพร่หลายและมีการพัฒนาเทคโนโลยีแล้ว อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีสัดส่วนในตลาดน้อยกว่าแต่มี มูลค่าผลิตภัณฑ์สูง ยังขาดเทคโนโลยีและเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ ที่มีลักษณะแตกต่างกันตามการใช้งาน และใช้ปริมาณไม่มาก แต่ให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของผู้ใช้เป็นอย่างมาก ทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง ซึ่งประเทศไทยยังผลิตได้น้อย

เทคนิคการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง (Latex Profile) ด้วยวิธีขับดันน้ำยางผ่านแม่แบบ (Latex Extrusion) ที่ใช้ในประเทศเป็นวิธีที่ใช้ในการผลิตเส้นด้ายยาง ซึ่งในขั้นตอนการขึ้นรูปเจลเส้นด้ายยางจะใช้สารละลายกรดเป็นสารที่ทำให้น้ำยางกลายเป็นเจล ทำให้ต้ องผ่านกระบวนการล้างเพื่อให้เส้นด้ายยางมีสภาพเป็นกลางก่อนเข้ากระบวนการอื่นต่อไป นอกจากนี้สารละลายกรดเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงควรวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวด้วยวิธีการขึ้นรูปด้วยความร้อนแทนการใช้กรดโดยการใช้เค รื่องต้นแบบผลิต ภัณฑ์เส้นต่อเนื่องที่ได้พัฒนาขึ้นมาจากงานวิจัยเรื่องการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่องจากน้ำยางธรรมชาติ งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้เป็นที่แพร่หลาย รวมทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติ และเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ด้วย

จากการตรวจสอบเอกสารวิชาการ พบว่า มีข้อมูลเบื้องต้นในการทำท่อยางจากน้ำยางข้นโดยวิธีการดันให้ผ่านหัวแม่แบบ และใช้การทำให้ยางจับตัวโดยใช้ความร้อน (Heat sensitive) ซึ่งต้องเติมสารเคมีที่ช่วยกระตุ้นให้ยางจับตัวเมื่อได้รับความร้อน คือ สารละลาย Polyvinyl methyl ether สามารถใช้สูตรยางที่ใช้น้ำยางข้นมาผสมสารเคมีแล้วบ่มไว้ หรือจะใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ก็ได้ (MRPRA, 1983 และ Gorton, 1994) ทั้งนี้การปรับสูตรส่วนผสมให้เป็นไปตามความต้องการด้านคุณภาพ และความปลอดภัยในเรื่องสุขอนามัยเป็นสำคัญ เช่น หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สัมผัสอาหาร ควรเลือกใช้สารเคมีที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ เป็นต้น การใช้สูตรแบบ heat sensitive มีการใช้ในการผลิตหัวนมยาง แต่เป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม ซึ่งต้องอุ่นพิมพ์ให้ร้อน และทำได้ครั้งละจำนวนมาก (Gorton, 1994 และBlackley, 1997) การนำมาดัดแปลงเป็นวิธีการดันผ่านหัวแม่แบบ ซึ่งเรียกว่า Extrusion จึงต้องดัดแปลงสูตรส่วนผสมไปด้วย นอกจากนี้ยังมีสภาวะอื่นที่อาจมีผลต่อสูตรสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่อง เช่น สมบัติเบื้องต้นของน้ำยางข้น ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำยางผสมสารเคมี และการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี เป็นต้น

จากงานวิจัยการผลิต ผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่องจากน้ำยางธรรมชาติที่ได้ทดลองผลิตท่อยางกลวงด้วยเครื่องต้นแบบ พบว่า มีปัจจัยมากมายที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีการดันให้ผ่าน

หัวแม่แบบ และทำให้ยางจับตัวด้วยความร้อน ทั้งเรื่องการออกแบบแม่แบบ (Die) ให้ใช้งานได้จริงซึ่ง เป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก รวมทั้งสูตรน้ำยางผสมเคมี และความสัมพันธ์ของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องต้นแบบในกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมอุณหภูมิน้ำยางผสมสารเคมี อัตราการไหลของน้ำยาง และการควบคุมอุณหภูมิของแม่แบบ

ระเบียบวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. น้ำยางข้น 60%
2. พอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์ (Polyvinylmethylether, PVME) เข้มข้น 10%
3. สารลดแรงตึงผิว (EMULVIN W) เข้มข้น 25%
4. ฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 40%
5. กำมะถัน เข้มข้น 50%
6. ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc diethyl dithiocarbamate, ZDEC) เข้มข้น 50%
7. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เข้มข้น 50%
8. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Wingstay L) เข้มข้น 50%
9. น้ำกลั่น

วิธีการ

1. ออกแบบและพัฒนาแม่แบบสำหรับเส้นด้ายยาง

   1.1 ออกแบบและพัฒนาแม่แบบ (Die) สำหรับเส้นด้ายยาง

   1.2 นำแม่แบบที่ได้ไปทดลองในการทดลองที่ 2

2. การหาสูตรและเทคนิคที่เหมาะสมในการผลิตเส้นด้ายยาง

2.1 นำแม่แบบจากการทดลองที่ 1 ทดลองผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบ หากยังไม่ได้ให้ปรับปรุงแม่แบบ สูตร วิธีการผลิต และทดลองใหม่

2.2 เมื่อได้แม่แบบและวิธีการผลิตที่เหมาะสมแล้ว ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายยางตามมาตรฐาน ISO 2321: 2006 ด้วยเครื่องทดสอบเทนไซล์ (Tensile Properties) ที่มีตัวจับยึดแบบ โอริง (O-ring grips) และใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน ที่อัตราดึง 500 มิลลิเมตร/นาที

2.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดเส้นด้ายยางยาวประมาณ 45 เซนติเมตร วัดความหนาของเส้นด้ายยางแล้วผูกปลายเส้นด้ายยางให้เป็นวงกลม ขดเส้นด้ายยางให้เป็นวงกลม 2 รอบ จำนวน 10 เส้น ต่อหนึ่งตัวอย่าง แบ่งเส้นด้ายยาง 5 เส้น ไปอบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง เพื่อใช้ทดสอบสมบัติเทนไซล์หลังบ่มเร่ง

2.2.2 การทดสอบ คล้องชิ้นทดสอบเส้นด้ายยางที่ขดเป็นวงกลม 2 รอบ ที่ตัวจับยึดแบบโอริง แล้วดึงเส้นด้ายยางด้วยเครื่องทดสอบเทนไซล์เพื่อบันทึกค่า แรงดึงจนขาด (Tensile strength) ระยะยืดจนขาด (Elongation at break) แรงดึงที่ระยะยืดที่กำหนด หรือ โมดูลัสที่ระยะยืดร้อยละ 300 (300% Modulus) และ โมดูลัสที่ระยะยืดร้อยละ 500 (500% Modulus) ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

2.3 บันทึกข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผล

ระยะเวลาทำการทดลอง

ตุลาคม 2551 – กันยายน 2553

สถานที่ดำเนินการ

กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง

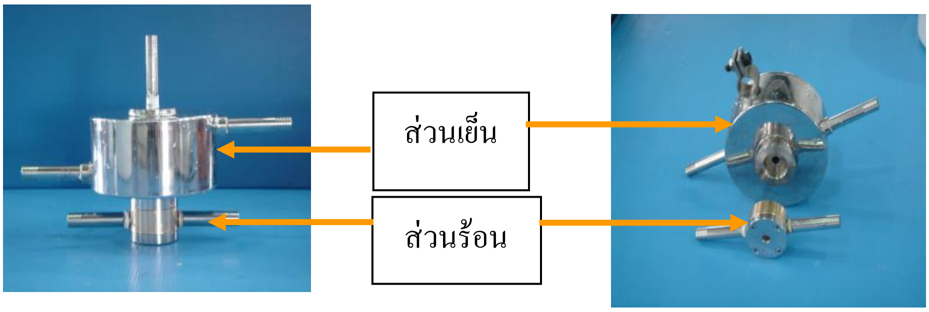
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ออกแบบและพัฒนาแม่แบบสำหรับผลิตเส้นด้ายยาง

1.1 ออกแบบและพัฒนาแม่แบบสำหรับเส้นด้ายยาง

การผลิตเส้นด้ายยางจากน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องต้นแบบที่ใช้เทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยความร้อนนั้น จะผ่านน้ำยางที่ผสมสารไวต่อความร้อนพอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์ (Polyvinyl methyl ether, PVME) เข้าสู่แม่แบบเส้นด้ายยางซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิ 2 ส่วน คือ ส่วนเย็น กับส่วนร้อน โดยที่ส่วนเย็นจะทำให้น้ำยางยังเป็นของไหลได้เพื่อไหลเข้าสู่ส่วนร้อน เมื่อน้ำยางเข้าสู่ส่วนร้อนก็จะเกิดการจับตัวของเนื้อยางในน้ำยางเป็นลักษณะเจลยางที่มีรูปทรงตามแม่แบบ

การออกแบบแม่แบบเส้นด้ายยางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ได้เริ่มออกแบบแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ก่อน โดยใช้วัสดุสแตนเลส ประกอบเป็น 2 ชั้น ชั้นในเป็นท่อกลวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ชั้นนอกมีระบบน้ำไหลวนเพื่อควบคุมอุณหภูมิแม่แบบ โดยส่วนบนของแม่แบบเป็นส่วนเย็น และส่วนล่างของแม่แบบเป็นส่วนร้อน ตามรูปที่ 1

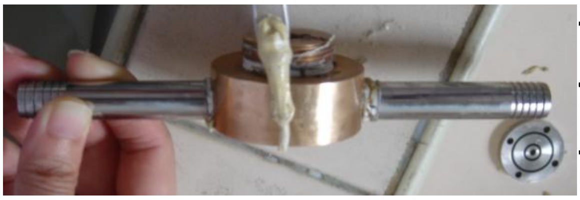


รูปที่ 1 แม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

1.2 นำแม่แบบที่ได้ไปทดลองผลิตเส้นด้ายยาง

ทดลองผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากข้อ 1.1 ด้วยเครื่องต้นแบบผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่อง และใช้สูตรผลิตเส้นด้ายยางตามตารางที่ 1 โดยคุมอุณหภูมิเย็นของแม่แบบ ที่ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิร้อนของแม่แบบที่ 33 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อน้ำยางที่ผสมสารไวต่อความร้อน PVME ได้รับความร้อนจากแม่แบบ น้ำยางเปลี่ยนสภาพเป็นเจลยาง แต่เจลยางไม่สามารถถูกขับออกมาจากแม่แบบได้

เมื่อพิจารณาลักษณะเจลยางที่ติดอยู่ภายในแม่แบบ พบว่า เจลยางเกิดขึ้นทั้งในส่วนเย็นและส่วนร้อนของแม่แบบ แต่มีขนาดไม่เท่ากัน โดยเจลยางที่เกิดในส่วนเย็นของแม่แบบมีขนาดใหญ่ และเจลยางในส่วนร้อนของแม่แบบมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ตามรูปที่ 2 ทำให้เจลยางที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นไหล่ยางจึงไม่สามารถถูกขับออกมาจากแม่แบบ



เจลยางที่จับตัวภายในแม่แบบส่วนเย็น (ขนาดใหญ่)
เจลยางที่จับตัวภายในแม่แบบส่วนร้อน (ขนาดเล็กและใหญ่)

รูปที่ 2 การจับตัวของน้ำยางเป็นเจลยางในส่วนเย็นและส่วนร้อนของแม่แบบ

ลักษณ ะไหล่ของเจลยางเกิดจากลักษณะภายในของแม่แบบส้นด้ายยาง เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนเย็นและส่วนร้อนของแม่แบบมีขนาด 10 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่น้ำยางเกิดการกลายเป็นเจลยางในส่วนเย็นทั้งๆ ที่ส่วนเย็นของแม่แบบควรคงสภาพของน้ำยางให้ไหลได้ แสดงว่าความร้อนจากส่วนร้อนของแม่แบบแผ่มาถึงส่วนเย็นของแม่แบบ การกลายเป็นเจลยางในส่วนเย็นของแม่แบบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทำให้ไม่สามารถไหลลงมาที่ส่วนร้อนของแม่แบบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า คือ 3 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงได้ปรับแม่แบบให้มีขนาดเส้นผ่าศู นย์กลางทั้งในส่วนเย็นและร้อนเท่ากัน แล้วทดลองผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องต้นแบบ โดยคุมอุณหภูมิเย็น 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิร้อน 35 องศาเซลเซียส ความดันลม 2 บาร์ พบว่า น้ำยาง กลายเป็นเจลยางเมื่อเข้าสู่ส่วนร้อนของแม่แบบ แต่เกิดแผ่นเจลยางตรงรอยต่อระหว่างส่วนเย็นกับส่วนร้อนของแม่แบบ ทำให้เจลยางไม่สามารถถูกขับออกมาจากแม่แบบได้

การเกิดแผ่นเจลยางระหว่างรอยต่อของแม่แบบ เนื่องจากแม่แบบเส้นด้ายยางประกอบเป็น 2 ชิ้น คือ ส่วนร้อนกับส่วนเย็นมาประกบกันด้วยเกลียว จึงต้องมีการขัดผิวแม่แ บบและเกลียวให้เรียบเพื่อไม่ให้เกิดช่องระหว่างแม่แบบ แต่ขณะปรับแต่งเกลียวของแม่แบบเกิดการขัดกัน ทำให้เกิดความไม่

แนบสนิทกันของรอยต่อระหว่างส่วนเย็นกับร้อนของแม่แบบ เมื่อน้ำยางผ่านช่องรอยต่อนี้จึงเกิดการทะลักของน้ำยางออกมาในช่องรอยต่อกลายเป็นแผ่นเจลยางเมื่อได้รับความร้อน

ดังนั้นจึงปรับแต่งแม่แบบใหม่โดยให้แม่แบบเป็นชิ้นเดียวโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแม่แบบทั้งส่วนเย็นและร้อน 3 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้เกิดปัญหารอยต่อระหว่างแม่แบบ และการเกิดไหล่เจลยาง ซึ่งทำให้เจลยางติดอยู่ภายในแม่แบบ แต่เทคนิคการทำแม่แบบที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กดังเช่น 3 มิลลิเมตร ในงานเส้นด้ายยางนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องการเจาะรูแม่แบบขนาด 3 มิลลิเมตร ที่มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร (รวมส่วนเย็นและร้อนของแม่แบบ) โดยส่วนใหญ่จะสามารถเจาะขนาด 3 มิลลิเมตร ได้ในช่วงความยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการขัดผิวรูให้เรียบด้วย จึงมีการดัดแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน โดยส่วนเย็นมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 มิลลิเมตร ยาว 78 มิลลิเมตร และส่วนเย็น – ส่วนร้อน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ซึ่งในส่วนร้อนของแม่แบบจะให้ความร้อนในระยะ 10 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 และ 4 ดังนี้

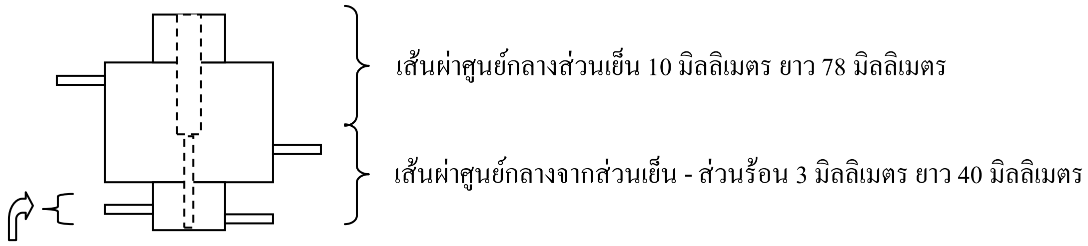
ตารางที่ 1 สูตรผลิตเส้นด้ายยาง

สารเคมี	**น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อยาง 100 กรัม, phr)**	**น้ำหนักเปียก (กรัม)**
1. 60% น้ำยางข้น	100	167
กวนไล่แอมโมเนียอย่างน้อย 40 นาที		
2. น้ำดีไอออนไนซ์ (Deionized water)		14.3
เติมน้ำครึ่งหนึ่ง อีกครึ่งหนึ่งไว้ล้างสารเคมี		
3. 25% Emulvin W	0.25	1
4. 40% ฟอร์มาลดีไฮด์	2.8	7
ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที ↓ วัดค่า pH ของน้ำยาง ถ้าไม่ได้ pH 7.5 - 8.0		
5. 50% กำมะถัน	1.25	2.5
6. 50% ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต	1.0	2
7. 50% ซิงค์ออกไซด์	1.0	2
8. 50% สารป้องกันการเสื่อมสภาพวิงสเตย์ แอล	0.5	1
9. 10% พอลีไวนิลเมทิลอีเทอร์ (PVME)	4	40
กวนน้ำยางต่อประมาณ 1 ชั่วโมง		

ตารางที่ 2 น้ำหนักของ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และ น้ำดีไอออนไนซ์

น้ำหนักแห้งของ 50% $CaCO_3$ (กรัมต่อยาง 100 กรัม, phr)	**น้ำหนักของ 50% $CaCO_3$ (กรัม)**	**น้ำหนักของน้ำดีไอออนไนซ์ (กรัม)**
1	2	14.4
2	4	14.6
3	6	14.7
4	8	14.8
5	10	15

รูปที่ 3 แม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ที่เป็นชิ้นเดียวกันทำจากสแตนเลส



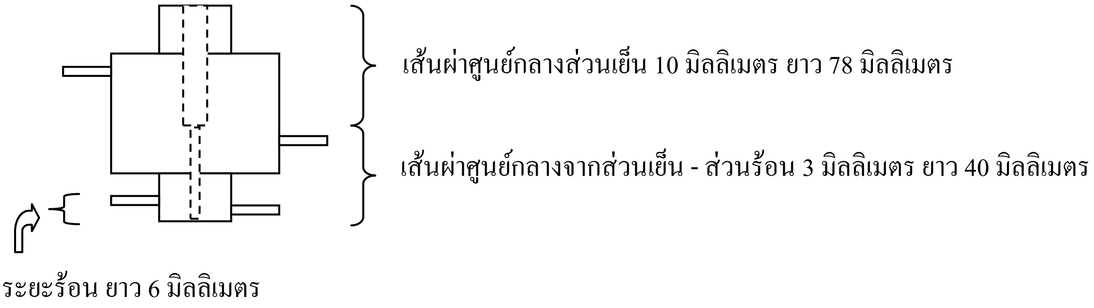
รูปที่ 4 ลักษณะภายในของแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ที่เป็นชิ้นเดียวกัน

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 มิลลิเมตร เริ่มในช่วงส่วนเย็นของแม่แบบ เพื่อให้น้ำยางสามารถไหลได้และเริ่มปรับสภาพให้มีขนาดเล็กลงจาก 10 มิลลิเมตร เป็น 3 มิลลิเมตร ก่อนเข้าสู่ส่วนร้อนของแม่แบบซึ่งน้ำยางจะเริ่มจับเป็นเจลยาง

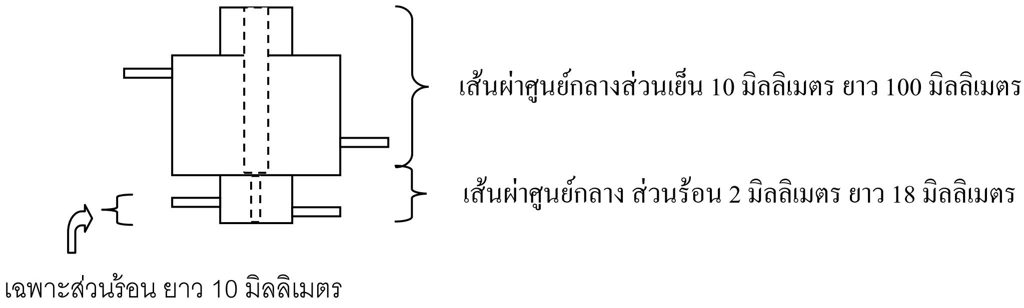
ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากแม่แบบที่เป็นชิ้นเดียวกันดังกล่าว ด้วยเครื่องต้นแบบ โดยคุมอุณหภูมิเย็นและร้อนของแม่แบบที่ 20 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และให้ความดันลม 2 บาร์ พบว่า น้ำยางเกิดการจับเจลยางในส่วนเย็นด้วย แสดงว่าความร้อนจากส่วนร้อนของแม่แบบสามารถแผ่มาถึงส่วนเย็นได้ ดังนั้นจึงปรับแต่งระยะส่วนร้อนของแม่แบบโดยลดความยาวส่วนร้อนให้สั้นลงจาก 10 มิลลิเมตร เป็น 8 มิลลิเมตร แล้วทดลองผลิตเส้นด้ายยาง โดยแ ปรอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส และส่วนร้อน 35, 40, 45, 50, 55, 60, 75 และ 80 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้ความดันลม พบว่า อุณหภูมิส่วนร้อนของแม่แบบที่ 50 องศาเซลเซียส จนถึง 75 องศาเซลเซียส น้ำยาง กลายเป็นเจลยางและไหลออกมาจากแม่แบบได้ ตามรูปที่ 5 ในบางครั้ งเจลเส้นด้ายยางที่ได้มีลักษณะเจลยางไม่เต็มแม่แบบ ดังนั้นระหว่างที่เจลเส้นด้ายยางไหลออกมาจากแม่แบบต้องปรับอัตราการไหลของน้ำยางเป็นระยะๆ ด้วย เพื่อให้เจลเส้นด้ายยางไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 5 การผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องต้นแบบ ที่อุณหภูมิเย็นและร้อนของแม่แบบ ที่ 20 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากการพัฒนาแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบได้ จึงได้พัฒนาแม่แบบเส้นด้ายยางที่มีเส้นผ่าศูนย์กล างขนาด 2 และ 1 มิลลิเมตร โดยมีลักษณะภายนอกแบบเดียวกับแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แต่ลักษณะภายในต่างกัน ตามรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ลักษณะภายในของแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 ลักษณะภายในของแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

2. การหาสูตรและเทคนิคที่เหมาะสมในการผลิตเส้นด้ายยาง

2.1 นำแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร จากการทดลองที่ 1 ผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบ

2.1.1 ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

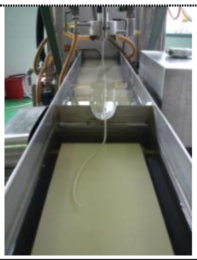
ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำยางผสมสารเคมีที่เติม 10% PVME จำนวน 4 phr (ตามตารางที่ 1) คุมอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส และส่วนร้อน 35, 40, 45, 50, 55, 60, 75 และ 80 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้ควา มดันลม พบว่า อุณหภูมิส่วนร้อนของแม่แบบที่ 50 องศาเซลเซียส จนถึง 75 องศาเซลเซียส น้ำยางจับตัวกลายเป็นเจลยางและไหลออกมาจากแม่แบบได้ ในบางครั้งเจลเส้นด้ายยางที่ได้มีลักษณะเจลยางไม่เต็มแม่แบบ ดังนั้นระหว่างที่เจลเส้นด้ายยางไหล ออกมาจากแม่แบบต้องปรับอัตราการไหลเป็นระยะๆ เพื่อให้เจลยางออกมาอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นอบเจลเส้นด้ายยางที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

การใส่สารเพิ่ม (filler) ลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์ สามารถผลิตเส้นด้ายยางได้เช่นกัน จึงทดลองผสม 50% แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$) จำนวน 5 phr ลงในน้ำยางคอมปาวด์ที่เติม 10% PVME จำนวน 4 phr (ตามตารางที่ 1 และ 2) โดยคุมอุณหภูมิเย็นของแม่แบบที่ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิร้อนของแม่แบบที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำยางกลายเป็นเจลยางและไหลออกมาจากแม่แบบอย่างต่อเนื่องยาวประมาณ 4,480 เซนติเมตร ในเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง 40 นาที ตามรูปที่ 8 ดังนั้นการใส่สารเพิ่มลงในสูตรผลิตเส้นด้ายยางยังสามารถผลิตเส้นด้ายยางได้และเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตจึงทดลองแปรปริมาณของสารเพิ่มในการผลิตเส้นด้ายยาง

ได้ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำยางผสมสารเคมีที่เติม 10% PVME จำนวน 4 phr และ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$) จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 phr (ตามตารางที่ 1 และ 2) จากการใช้น้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่ โดยคุมอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส และส่วนร้อน 50 องศาเซลเซียส พบว่า เจลยางไหลออกมาจากแม่แบบได้แต่เมื่อปริมาณ $CaCO_3$ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2 phr ขึ้นไป การไหลของเจลยางไหลออกมาจากแม่แบบมีระยะสั้นลง และเกิดการตันของน้ำยางคอมปาวด์ที่สายลำเลียงน้ำยางเข้าสู่แม่แบบ ตามตารางที่ 3เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้น้ำยางคอมปาวด์มีความหนืดเพิ่มขึ้นและอาจส่งผลให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายขึ้น

อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบเส้นด้ายยางที่มี 50% $CaCO_3$ จำนวน 5 phr จากการใช้น้ำยางข้นชุดผลิตก่อนหน้านี้ สามารถผลิตเจลเส้นด้ายยางขนาด 3 มิลลิเมตรได้ ดังนั้นปริมาณ 50% $CaCO_3$ จำนวน 1, 2, 3 และ 4 phr ก็น่าจะผลิตเจลเส้นด้ายยางได้เช่นกัน แต่เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่เส้นด้ายยางที่มี 50% $CaCO_3$ จำนวนตั้งแต่ 2 phr ขึ้นไป ทำให้น้ำยางกลายเป็นเจลยาง และเกิดการตันในสายลำเลียงและภายในแม่แบบ ส่งผลให้เจลเส้นด้ายยางอย่างไหล

ตารางที่ 3 เจลเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ที่แปรปริมาณของ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต (50% $CaCO_3$) จากน้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่

น้ำหนักแห้งของ 50% $CaCO_3$ (กรัมต่อยาง 100 กรัม, phr)	การผลิตเส้นด้ายยาง	เส้นด้ายยางที่อบแล้ว	ปัญหาการตัน
0 (ควบคุม)			-
1			-
2			เจลยางตันในท่อลำเลียง
3			เจลยางโป่ง
4			เจลยางตันในท่อลำเลียง
5			เจลยางตันในท่อลำเลียง

ออกมาจากแม่แบบได้เพียงแค่ระยะเวลาสั้นๆ (ประมาณ 30 - 50 นาที) แสดงว่าการเปลี่ยนน้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่มีผลต่อกระบวนการผลิตเส้นด้ายยาง

ไม่มี 50% $CaCO_3$ (ควบคุม)

มี 50% $CaCO_3$, 5 phr (การบวมตัว 173%)

รูปที่ 8 เจลเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ที่เติม 50% แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 5 phr

2.1.2 เส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำยางผสมสารเคมีที่เติม 10% PVME จำนวน 4 phr (ตามตารางที่ 1) คุมอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส ส่วนร้อน 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่ใช้ความดันลม เมื่อทดลองผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบ พบว่า อุณหภูมิของแม่แบบส่วนร้อนที่ 55 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ทำให้น้ำยางจับเป็นเจลยางได้ ตามรูปที่ 9 แต่ลักษณะเจลยางในบางครั้งไม่เต็มแม่แบบ และบางครั้งน้ำยางกลายเป็นเจลยางไม่เต็มที่ ซึ่งต้องคอยปรับอัตราการไหลเป็นระยะ

ปรับสูตรน้ำยางใหม่ โดยเพิ่ม 10% PVME จาก 4 phr เป็น 8 phr และคุมอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส ส่วนร้อน 50, 55, และ 60 องศาเซลเซียส ไม่ใช้ความดันลม เมื่อทดลองผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่อุณหภูมิแม่แบบส่วนร้อน 55 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำยางกลายเป็นเจลยางได้อย่างต่อเนื่องกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะเจลยางที่ได้มีความนิ่มตัวกว่าน้ำยางที่ผสม 10% PVME จำนวน 4 phr ทั้งนี้ยังต้องปรับอัตราการไหลของน้ำยางเป็นระยะเช่นเดิม

เจลเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

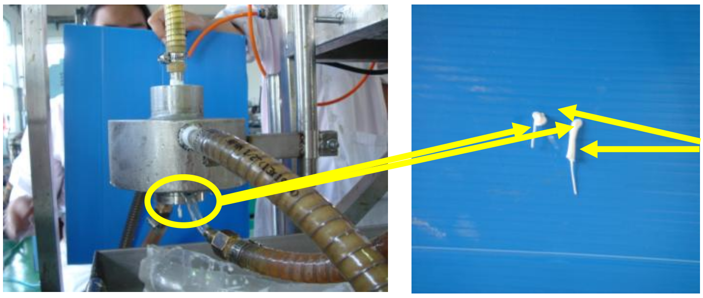
รูปที่ 9 เจลเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ของน้ำยางที่ผสม 10% PVME จำนวน 4 phr

2.1.3 เส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

ผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำยางผสมสารเคมีที่เติม 10% PVME จำนวน 4 phr (ตามตารางที่ 1) คุมอุณหภูมิแม่แบบส่วนเย็น 20 องศาเซลเซียส ส่วนร้อน 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ไม่ใช้ความดันลม พบว่า เกิดการจับตัวเป็นเจลยางและตันภายในแม่แบบ จึงทดลองผลิตใหม่โดยไม่ให้ความร้อนในส่วนร้อนของแม่แบบ (ที่อุณหภูมิห้อง) พบว่า น้ำยางไม่จับเป็นเจลยาง จึงค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิร้อนของแม่แบบเป็น 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำยางไม่ไหลออกจากแม่แบบ เมื่อตรวจดูภายในแม่แบบพบเจลยางในส่วนเย็นและส่วนร้อนของแม่แบบ ทำให้เกิดลักษณะไหล่ยางภายในแม่แบบ เจลยางจึงไม่สามารถไหลออกมาจากแม่แบบ

เมื่อพิจารณาแม่แบบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร พบว่า แม่แบบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในส่วนเย็น 10 มิลลิเมตร และเริ่มมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในส่วนร้อน 1 มิลลิเมตร ดังนั้นปัญหาไหล่ยางที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากความร้อนจากส่วนร้อนของแม่แบบแผ่ไปถึงส่วนเย็นของแม่แบบ ทำให้น้ำยางที่เติม 10% PVME ในส่วนเย็นของแม่แบบเกิดการจับตัวของน้ำยางเป็นเจลยาง จึงได้ปรับเปลี่ยนแม่แบบใหม่โดยปรับให้แม่แบบมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตรเริ่มตั้งแต่ในส่วนเย็นของแม่แบบ ตามรูปที่ 10 แต่เมื่อทดลองผลิตเส้นด้ายยางจากแม่แบบใหม่โดยคุมอุณหภูมิเย็นและร้อนของแม่แบบที่ 20 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า เกิดการตันของเจลยางภายในแม่แบบ ตามรูปที่ 11 เจล ยางขนาดใหญ่เป็นส่วนที่เกิดในส่วนเย็นของแม่แบบ และเจลยางขนาดเล็กเป็นส่วนที่เกิดในส่วนร้อนของแม่แบบ เจลยางขนาดใหญ่ทำให้มีลักษณะเป็นไหล่ยางไม่สามารถถูกขับออกมาจากแม่แบบในส่วนร้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าได้

รูปที่ 10 แม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ที่ปรับในส่วนเย็นให้เริ่มมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 11 เจลยางตันภายในแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

สำหรับการผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องต้นแบบยังไม่สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตได้ เนื่องจากรูปแบบของแม่แบบเส้นด้ายยางยังไม่เหมาะสม ต้องออกแบบและพัฒนาแม่แบบให้เหมาะสม และสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ ในการผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบด้วย เช่น อุณหภูมิแม่แบบ อัตราการไหล และสมบัติน้ำยาง

2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายยาง

จากการพัฒนาแม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร แล้วนำมาผลิตเส้นด้ายยางด้วยเค รื่องต้นแบบ พบว่า เส้นด้ายยางที่ออกมาอย่างต่อเนื่องดีที่สุดได้มาจากการใช้แม่แบบเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (ความหนา ประมาณ 1.26 มิลลิเมตร) ที่ผสม 10% PVME และจากแม่แบบเส้นด้ายยางขนาด 3 มิลลิเมตร ที่ผสม 10% PVME ซึ่งแปรปริมาณสารเพิ่ม 50% แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 phr (ความหนาประมาณ 2.48, 2.40, 2.32, 2.31, 2.39 และ 2.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ) เส้นด้ายยางทั้ง 2 ขนาดใช้น้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่ โดยในแต่ละ

สภาวะได้ผลิตเส้นด้ายยาง 2 วันติดกัน ซึ่งแต่ละวันมีค่าการบวมตัวต่างกัน จึงได้นำเ สันด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร ดังกล่าวมาทดสอบสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ISO 2321 : 2006 ได้แก่ แรงดึงจนขาด (Tensile strength) ระยะยืดจนขาด (Elongation at break) โมดูลัสที่ร้อยละ 300 (300% Modulus) และโมดูลัสที่ร้อยละ500 (500% Modulus) ก่อนบ่มเร่ง ได้ผลตามตารางที่ 4 และค่าความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพหลังบ่มเร่ง ตามตารางที่ 5

<u>เส้นด้ายยางขนาด 30 มิลลิเมตร</u>

จากตารางที่ 4 เมื่อเส้นด้ายยางมีปริมาณของสารเพิ่ม 50% แคลเซียมคาร์บอเนต เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าแรงดึงจนขาดและระยะยืดจนขาดก่อนบ่มเร่งค่อนข้าง ใกล้เคียงกันหรือลดลงเพียงเล็กน้อย แต่โมดูลัสที่ระยะยืดร้อยละ 300 และ 500 ก่อนบ่มเร่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นด้ายยางมีความยืดหยุ่นลดลง เมื่อเส้นด้ายยางถูกยืดออกไปในระยะที่ยาวขึ้นจนใกล้จะขาดจะใช้แรงดึงซึ่งแสดงในค่าของโมดูลัสมากขึ้น

จากตารางที่ 5 หลังจากบ่มเร่งเส้นด้ายยางแล้ว พบว่าเส้นด้ายยางที่มีปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 1 และ 2 phr มีค่าความต่างของแรงดึงจนขาดเพิ่มขึ้นแสดงว่าทนความร้อนได้ดีขึ้น และเส้นด้ายยางที่มีปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 3, 4 และ 5 phr มีค่าความต่างของแรงดึงจนขาดลดลงแสดงว่าทนความร้อนได้น้อยลง ดังนั้นปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้เส้นด้ายยางทนความร้อนได้น้อยลง สำหรับระยะยืดจนขาดหลังบ่มเร่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต เพิ่มขึ้น

หากพิจารณ าเส้นด้ายยางที่มีปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากัน แต่ผลิตคนละวันให้ค่าความต่างของสมบัติทางกายภาพหลังบ่มเร่งที่ต่างกัน เช่น เส้นด้ายยางที่มี 50% แคลเซียมคาร์บอเนต 1 และ 4 phr มีความต่างของแรงดึงจนขาดที่เพิ่มขึ้นและลดลง จึงยังสรุปแน่นอนไม่ได้ว่าปริมาณ 50% แคลเซียมคาร์บอเนต ที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นด้ายยางทนความร้อนได้ดีขึ้นหรือน้อยลง ต้องเพิ่มจำนวนข้อมูลการทดสอบทางกายภาพอีก

<u>เส้นด้ายยางขนาด 2 มิลลิเมตร</u>

จากตารางที่ 4 และ 5 เส้นด้ายยางมีค่าสมบัติทางกายภาพลดลงหลังบ่มเร่ง แสดงว่าทนความร้อนได้น้อยลง

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ที่แปรปริมาณสารเพิ่ม 50% แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 phr ก่อนบ่มเร่ง และค่าความต่างของสมบัติทางกายภาพหลังบ่มเร่ง

ปริมาณ 50% $CaCO_3$ ที่เติมในเส้นด้ายยาง (phr)	ครั้งที่ผลิต	ค่าการบวมตัว (%)	แรงดึงจนขาด (N/mm^2)	ระยะยืดจนขาด (%)	โมดูลัสที่ร้อยละ 300 (N/mm^2)	โมดูลัสที่ร้อยละ 500 (N/mm^2)
เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (ก่อนบ่มเร่ง)						
0	1	180	11.0	645	1.20	2.00
เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (หลังบ่มเร่ง)						
0	1	180	7.0	592	1.04	1.89
เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (ก่อนบ่มเร่ง)						
0	1	173	12.6	692	1.21	2.01
1	1	184	9.5	638	1.25	2.15
1	2	176	11.6	633	1.29	2.35
2	1	165	10.8	637	1.38	2.52
2	2	176	9.6	598	1.43	2.86
3	1	176	12.3	635	1.39	2.69
3	2	165	11.1	643	1.32	2.37
4	1	176	10.8	672	1.33	2.47
4	2	165	11.1	601	1.36	2.91
5	1	176	12.3	658	1.34	2.50
5	2	169	11.0	627	1.33	2.71
เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (หลังบ่มเร่ง)						
0	1	173	14.4	653	1.30	2.42
1	1	184	12.2	653	1.37	2.40
1	2	176	10.9	628	1.42	2.54
2	1	165	13.5	645	1.48	2.69
2	2	176	11.8	563	1.57	2.86
3	1	176	10.3	668	1.49	2.68
3	2	165	10.9	594	1.54	2.89
4	1	176	11.4	609	1.51	2.97
4	2	165	8.9	614	1.32	2.42
5	1	176	9.1	602	1.38	2.71
5	2	169	8.7	611	1.32	2.40

ตารางที่ 5 ความต่างของสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร

ปริมาณ 50% $CaCO_3$ ที่เติมในเส้นด้ายยาง (phr)	**ครั้งที่ผลิต**	**ค่าการบวมตัว (%)**	**ความต่างของสมบัติทางกายภาพ (ร้อยละ)**			
			แรงดึงจนขาด	**ระยะยืดจนขาด**	**โมดูลัสที่ร้อยละ 300**	**โมดูลัสที่ร้อยละ 500**
เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร						
0	1	180	-36.4	-8.2	-13.3	-5.5
เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร						
0	1	173	14.3	0.0	7.4	20.4
1	1	184	28.4	0.0	9.6	11.6
1	2	176	-6.0	-0.8	10.1	8.1
2	1	165	25.0	1.3	7.2	6.7
2	2	176	22.9	-5.9	9.8	0.0
3	1	176	-16.3	5.2	7.2	-0.4
3	2	165	-1.8	-7.6	16.7	21.9
4	1	176	5.6	-9.4	13.5	20.2
4	2	165	-19.8	2.2	-2.9	-16.8
5	1	176	-26.0	-8.5	3.0	8.4
5	2	169	-20.9	-2.6	-0.8	-11.4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

แม่แบบสำหรับผลิตเส้นด้ายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส ประกอบเป็น 2 ชั้น ชั้นในเป็นท่อกลวงกลม ชั้นนอกมีระบบน้ำไหลวนเพื่อควบคุมอุณหภูมิแม่แบบ โดยส่วนบนของแม่แบบเป็นส่วนเย็นยาว และส่วนล่างของแม่แบบเป็นส่วนร้อน โดยส่วนเย็นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 78 เซนติเมตร และจากส่วนเย็นถึงส่วนร้อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 หรือ 3 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร สูตรและสภาวะเบื้องต้นสำหรับผลิตเส้นด้ายยางขนาด 2 และ 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องต้นแบบการพัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่องที่ใช้เทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยความร้อน คือ ใช้สารเคมีที่ไวต่อความร้อน (heat sensitivity) 10% พอลีไวนิลเทิลอีเทอร์ (Polyvinylmethylether) จำนวน 4 phr และ คุมอุณหภูมิในส่วนเย็นและส่วนร้อนของแม่แบบ ที่ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้การปรับสูตรโดยการลดต้นทุนด้วยการเติมสารเพิ่ม 50% แคลเซียมคาร์บอเนตก็สามารถเพิ่มได้ถึง 5 phr

สำหรับแม่แบบเส้นด้ายยางขนาด 1 มิลลิเมตร ยังมีรูปแบบที่ไม่เหมาะสมจึงยังไม่สามารถผลิตเส้นด้ายยางด้วยเครื่องต้นแบบได้ ยังต้องพัฒนาแม่แบบต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบแม่แบบเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาและพัฒนาให้มากขึ้น เพราะรูปแบบของแม่แบบมีความสัมพันธ์กับปัจจัยในกระบวนการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับวั ตถุดิบและเทคนิคการขึ้นรูปของแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับการผลิตเส้นด้ายยางจากน้ำยางข้นด้วยเครื่องต้นแบบผลิตภัณฑ์เส้นต่อเนื่องต้องมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม เช่น สมบัติของน้ำยางคอมปาวด์ในเรื่องความหนืด ซึ่งมีผลต่อการไหลและการขึ้นรูป รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ในการผลิต คือ ปริมาณ PVME อัตราการไหล และอุณหภูมิของแม่แบบทั้งในส่วนเย็นและส่วนร้อน โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำยางข้นชุดการผลิตใหม่ต้องปรับสภาวะเงื่อนไขการผลิตดังกล่าวให้เหมาะสม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณนางสาวเพ็ญทิพย์ ทองธรรมชาติ และนางสาวกมลทิพย์ บูรณะสุคนธ์ ที่ช่วยเต รียมน้ำยางคอมปาวด์และดำเนินการผลิตเส้นด้ายยาง

เอกสารอ้างอิง

1. Extruded latex tubing – Natural Rubber Technical Information Sheet, MRPRA 1983. L58.

2. Gorton T. 1994. Latex tubing. **Rubber Products Manufacturing Technology.** Edited by A.K. Bhowmick, M.M. Hall and H.A. Benarey. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 842.

3. Gorton T. 1994. Heat-sensitive Dipping. **Rubber Products Manufacturing Technology.** Edited by A.K. Bhowmick, M.M. Hall and H.A. Benarey. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 832.

4. Blackley, D.C. 1997. Heat-sensitizing coacervants. **Polymer Latices Science and Technology.** 2^{nd} ed. Vol. 1. Chapman & Hall. London. pp. 303-351.