



รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์
Design and Fabrication Latex Compound Maturation Vessel

ศิวโรฒ บุญราศรี

สิงหาคม 2548

รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์
Design and Fabrication Latex Compound Maturation Vessel

ผู้วิจัย

ศิโรตม์ บุญราศรี

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์จาก
น้ำยางธรรมชาติ-แม่โจ้ (1)

Research and Development of Instrument for Natural Rubber Products – MJU
small project group (1)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ปั้มน้ำยางคอมปาวด์ แบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ถังควบคุมอุณหภูมิและถังปั้มน้ำยาง ส่วนที่ 1 ถังควบคุมอุณหภูมิได้ออกแบบใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 15 นาที และมีปั้มน้ำขนาด 13.5 วัตต์ 220 โวลต์ เป็นปั้มน้ำวน เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำ ภายในถังให้สม่ำเสมอ ส่วนที่ 2 ถังปั้มน้ำยาง ออกแบบให้มีการกวนน้ำยางด้วยมอเตอร์ขนาด 4 วัตต์ 220 โวลต์ พบว่าการกวนน้ำยางที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาทีและมีใบกวน 2 ชั้น สามารถลดการเกิดฟิล์มและการตกตะกอนขณะปั้มน้ำยาง

การปั้มน้ำยางคอมปาวด์ ผลการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์กับคลอโรฟอร์มได้น้ำยางคอมปาวด์เป็นเกรดที่ 4 เมื่อใช้ใบกวน 2 ชั้น ความเร็วของการกวน 60 รอบต่อนาที โดยควบคุมอุณหภูมิ ณ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าใช้เวลา 108, 24 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งระดับการวัลคาไนซ์ บางส่วนในน้ำยางคอมปาวด์สามารถวัดได้ โดยผลการทดสอบการบวมพองในโหลอื่น และการทดสอบคลอโรฟอร์ม

ABSTRACT

The design and fabrication of the latex maturation model for latex compound part was divided into 2 components; the temperature control tank and the maturation tank. The temperature control tank consisted of a 2,000 watt-heater for increasing water temperature from 30°C to 50°C within 15 minutes. The 13.5 watt-220 voltage pump was used to circulate and stabilize water temperature inside the tank. The maturation tank consisted of a 4 watt-220 voltage motor for stirring the latex. It was found that the double layer-rectangular paddle with rotor speed of 60 rpm reduced the film formation and precipitation during maturation.

The maturation tests were performed until the latex vulcanization with chloroform to achieve the 4th grade latex. The double layer-rectangular paddle at speed of 60 rpm were used. The maturation temperatures were controlled at 30, 40 and 50°C which required 108, 24 and 6 hours, respectively. Partial vulcanization level of latex compound can be determined by swelling in toluene and chloroforms test.

หน้าสรุปโครงการ

1. ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์
 คำสำคัญ การบ่มน้ำยาง, น้ำยาง, น้ำยางคอมปาวด์, ดิสเพอซชั่น, การทดสอบคลอโรฟอร์ม
 Design and Fabrication Latex Compound Maturation Vessel.
 Keywords Maturation, latex, Latex Compound, dispersion, Chloroform test
2. ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ศิวโรฒ บุญราศรี
 หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
 โทรศัพท์ 053-875-544
 โทรสาร 053-498-902
 E-mail siwaroj@mju.ac.th
3. หน่วยงาน ชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ
 ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์
 คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290
 โทรศัพท์ 053-875-544
 โทรสาร 053-498-902
 E-mail -
5. ระยะเวลา การดำเนินงาน วันที่ 22 พฤศจิกายน 2547 - วันที่ 30 สิงหาคม 2548 (9 เดือน 9 วัน)

6. แผนการดำเนินงาน

รายการ	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.
1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องบ่มน้ำยาง	←	→								
2. สร้างเครื่องบ่มน้ำยาง		←	→							
3. ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์บางส่วน ของน้ำยาง							←	→		
4. สรุป และเขียนรายงานต่อสกว.									←	→

7. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การบ่ม (Maturation) น้ำยางธรรมชาติและสารเคมี นับเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ทั้งนี้วิธีการบ่มต้องนำยางธรรมชาติและสารเคมีผสมกัน กวนตลอดเวลาอย่างช้า ๆ ใช้เวลา 48-72 ชั่วโมง ทำให้ได้น้ำยางที่คุณภาพสม่ำเสมอ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังต้องพัฒนาอีก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิในถังบ่มให้คงที่ ออกแบบใบพัดเพื่อให้กวนน้ำยางได้ทั่วถึง และควบคุมความเร็วของการกวน หลังจากที่ได้อุปกรณ์บ่มน้ำยางก็จะทำการทดลองบ่มน้ำยาง ทดสอบการวัลคาไนซ์บางส่วนของน้ำยาง โดยทดสอบกับคลอโรฟอร์ม และการบวมพองในโหลอื่น มีปัจจัยที่จะทำการศึกษาคือ อุณหภูมิต่อระยะเวลาในการบ่มน้ำยาง

8. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับการบ่มน้ำยาง ต้นแบบขนาดเล็ก สำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมยางทางภาคเหนือ
2. ศึกษาตัวแปรในการบ่มน้ำยาง

9. ทางเลือกและแนวทางแก้ปัญหา

การบ่มเพื่อให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ที่มีคุณภาพ มีตัวแปรสำคัญ คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการบ่ม ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางจะต้องมีใบกวนที่ดี เพื่อกวนน้ำยางได้อย่างทั่วถึง มีความเร็วที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศในน้ำยาง และมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของถังบ่มน้ำยาง เพื่อควบคุมให้ถังบ่มมีอุณหภูมิคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อม และศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการบ่ม

10. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องมือสำหรับการบ่มน้ำยางขนาดเล็ก ที่มีประสิทธิภาพในการบ่มน้ำยาง
2. ได้ทราบถึงตัวแปรที่เหมาะสมในการบ่มน้ำยาง

11. แนวทางการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยาง
 - ศึกษาใบกวนที่เหมาะสมสำหรับกวนน้ำยางผสมสารเคมี
 - ศึกษาความเร็วที่เหมาะสมในการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี
 - ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มน้ำยาง
2. สร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยาง
 - นำปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาในข้อ 1 มาสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยาง
3. ทดสอบการเกิดฟิล์ม
4. ทดสอบการตกตะกอน
5. ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์บางส่วน ของน้ำยาง
 - ระดับการวัลคาไนซ์บางส่วนทำการทดลองโดยใช้วิธีทดสอบคลอโรฟอร์ม
 - ทดสอบการบวมพองในโหลอื่น

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางมีมากมายหลายชนิด เช่น ถูมือ ลูกโป่ง ถูยางอนามัย หัวนมยาง ฟองน้ำ สายยางยืด ท่อสายยางน้ำเกลือ ตุ๊กตา หน้ากาก ฯลฯ สำหรับการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางมีอยู่หลายขั้นตอน ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือ การนำน้ำยางผสมกับสารเคมี น้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วเรียกว่า น้ำยางคอมปาวด์ (compound) สารเคมีที่เติมในน้ำยางมีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ หลังจากเติมสารเคมีลงในน้ำยางแล้วจะมีการบ่ม (Maturation) น้ำยางกับสารเคมี การบ่มน้ำยางธรรมชาติและสารเคมี นับเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ทั้งนี้ วิธีการบ่มต้องนำน้ำยางและสารเคมีผสมกันจนตลอดเวลาอย่างช้า ๆ ใช้เวลา 48-72 ชั่วโมง จะทำให้ได้น้ำยางที่คุณภาพสม่ำเสมอและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังต้องพัฒนาอีกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการศึกษาพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิในถังบ่มให้คงที่ ออกแบบใบพัดเพื่อให้กวนน้ำยางได้ทั่วถึง และควบคุมความเร็วของการกวน หลังจากที่ได้อุปกรณ์บ่มน้ำยางแล้วก็จะทำการทดลองบ่มน้ำยาง ทดสอบการวัลคาไนซ์บางส่วนของน้ำยาง โดยวิธีทดสอบกับคลอโรฟอร์ม (การทดสอบคลอโรฟอร์ม (Chloroform test) ผลที่ได้แบ่งเป็น 4 เกรด จากระดับการวัลคาไนซ์น้อยไปหามาก โดยที่เกรดที่ 1 มีระดับการวัลคาไนซ์น้อยที่สุด และเกรดที่ 4 มีระดับการวัลคาไนซ์มากที่สุด เกรดที่ 2-3 เหมาะสมที่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้) และการทดสอบการบวมพองในโทลูอีน (ถ้าหากว่ายางเป็นยางธรรมชาติดิบหรือยางที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงของโมเลกุลยางสามารถละลายได้ในโทลูอีน (Toluene) หากว่ายางเกิดการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) หรือเกิดพันธะเชื่อมโยง (Cross link) จะไม่ละลายในโทลูอีนแต่เกิดการบวมพอง (Swelling) ในโทลูอีนเท่านั้น การบวมพองในโทลูอีนบอกได้ถึงความหนาแน่นในการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยางได้ ถ้ายางบวมพองมากแสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงน้อย ถ้ายางบวมพองน้อยแสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงมาก) โดยมีปัจจัยที่จะทำการศึกษา คือ อุณหภูมิต่อระยะเวลาในการบ่มน้ำยาง

ผลการทดสอบสมรรถนะจำเพาะของอุปกรณ์บ่มน้ำยาง การออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์ มีการออกแบบให้การควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2000 วัตต์ ให้ความร้อนกับน้ำจากอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็น 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 นาที และจากอุณหภูมิห้องเป็น 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 13 นาที ความเร็วในการกวนของถังบ่มน้ำยางมีสองความเร็วคือ 30 และ 60 รอบต่อนาที พบว่าถังบ่มที่กวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิภายในถังจะใกล้เคียงกับถังควบคุมอุณหภูมิมากกว่าถังบ่มที่กวนด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที เพราะการแลกเปลี่ยนความร้อนของถังบ่มที่กวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที ทำให้น้ำยางมีโอกาสสัมผัสกับผนังถังบ่มน้ำยางได้

มากกว่า และถึงบ่มที่กวนด้วยความเร็วในการกวนที่ 60 รอบต่อนาที จะมีการตกตะกอนที่ก้นถังน้อยกว่าถึงบ่มที่กวนด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที ผลการทดสอบชนิดของไบกวนสองชนิดคือ ไบกวน 1 ชั้นและไบกวน 2 ชั้น พบว่าการใช้ไบกวนสองชนิดนี้ไม่ทำให้น้ำยางเกิดฟองที่สังเกตด้วยตาเปล่า และไบกวน 2 ชั้นไม่ทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวหน้าน้ำยาง มีการวัดอุณหภูมิน้ำในถังควบคุมอุณหภูมิ ณ หลายจุดของพื้นที่ถัง พบว่ามีอุณหภูมิต่างกันน้อยมาก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ปั๊มขนาด 13.5 วัตต์ 220 โวลต์ เพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำภายในถังให้สม่ำเสมอ สุดท้ายการทดสอบผลของอุณหภูมิในการบ่มน้ำยางต่อระยะเวลาที่น้ำยางคอมปาวด์ พบว่าเมื่อการบ่มน้ำยางจนกระทั่งน้ำยางคอมปาวด์มีระดับการวัลคาไนซ์บางส่วนถึงเกรดที่ 4 (ของการทดสอบโดยคลอโรฟอร์ม) ณ อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเท่ากับ 108, 24 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ แสดงว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเวลาในการบ่มน้ำยาง ควรมีการควบคุมอุณหภูมิถึงบ่มน้ำยางให้คงที่ เพราะถ้าถึงบ่มน้ำยางมีอุณหภูมิสูงขึ้นใช้เวลาในการบ่มน้อยลง โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางต้องคำนึงถึงความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อน้ำยางคอมปาวด์ เนื่องจากในแต่ละวันค่อนข้างจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากอาจมีผลกระทบต่อน้ำยางที่บ่มเอาไว้ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิถึงบ่มน้ำยาง ทำให้น้ำยางที่บ่มไว้มีระดับการวัลคาไนซ์บางส่วนคลาดเคลื่อน และจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

การทดสอบการบวมในโหลอื่น เช่น การบ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทดสอบคลอโรฟอร์มได้เกรดน้ำยางที่ 1, 2, 3 และเกรดที่ 4 มีเปอร์เซ็นต์การบวมพองในโหลอื่น เท่ากับ 5.83, 114.02 84.83 และ 74.48 ตามลำดับ จากทฤษฎีถ้าน้ำยางมีระดับการวัลคาไนซ์น้อยขึ้น ทดสอบจะบวมพองมาก แต่มีข้อสังเกต เมื่อน้ำยางคอมปาวด์อยู่ระหว่างเกรดที่ 1-2 แผ่นยางมีลักษณะเป็นวุ้นถ้าทิ้งไว้นานจะมีการขยายตัวน้อย เนื่องจากขึ้นทดสอบบางเกินไปทำให้น้ำยางแทรกซึมไปในเนื้อกระดาษ ทำให้แรงยึดติดระหว่างยางกับกระดาษมากกว่ายางกับยาง จึงทำให้การขยายตัวในช่วงนี้น้อย ซึ่งถ้ายางสามารถหลุดจากกระดาษได้จะทำให้การขยายตัวในช่วงนี้มากที่สุด ดังนั้น การทดสอบการวัลคาไนซ์บางส่วนควรมีการทดสอบคลอโรฟอร์มควบคู่ไปกับการทดสอบการบวมพองในโหลอื่น ส่วนการลดลงของการขยายตัวในขึ้นทดสอบระหว่างเกรดที่ 2-4 แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้การบวมพองลดลง

จากการทดสอบอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้สร้างขึ้น จะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการสุกของยาง ซึ่งสภาพการใช้งานจริงในบางโรงงานไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาง เช่น บางวันอากาศร้อน บางวันฝนตก ทำให้ระยะเวลาในการสุกของยางเปลี่ยนแปลงไปได้ ดังนั้นทางโรงงานน้ำยางควรคิดถึงปัจจัยของอุณหภูมิในการบ่มน้ำยาง เพื่อให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ และเป็นการลดต้นทุนของโรงงานจากการลดปริมาณของเสีย

นอกจากนั้น อุปกรณ์ปัมน้ำยางที่ได้สร้างขึ้นมีถังปั๊ม 3 ถัง ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทดสอบเปรียบเทียบสูตรน้ำยางในห้องปฏิบัติการได้ โดยสามารถแปรปริมาณสารในสูตรได้ 3 สูตร

เนื้อหางานวิจัย

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพาราได้มากที่สุดในโลก คือ ประมาณปีละ 2.5 ล้านตัน คิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตยางจากทั่วโลก มีพื้นที่ปลูกประมาณ 12.3 ล้านไร่ ผลผลิตส่งออกปีละประมาณ 2.4 ล้านตัน มูลค่ากว่า 100,000 ล้านบาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศมาเลเซียประเทศไทยมีผลผลิตยางมากกว่าประเทศมาเลเซียถึง 4 เท่า แต่กลับมีรายได้เข้าประเทศจากผลิตภัณฑ์ยางพาราน้อยกว่าประเทศมาเลเซียถึงปีละประมาณ 2,000 ล้านบาท (สุธีระ, 2547) เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางพาราให้มีคุณภาพสูง รวมทั้งมาตรฐานการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมยางพารารองรับ

การส่งออกยางพาราของประเทศไทย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวัตถุดิบคือ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ซึ่งยางแผ่นรมควันและยางแท่ง ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยางรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ลูกเทนนิส เป็นต้น ส่วนน้ำยางข้นใช้ทำผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ตุ๊กตา ยางอนามัย เป็นต้น สำหรับการนำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นมีอยู่หลายขั้นตอน ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ คือ การนำน้ำยางผสมกับสารเคมี

ดังนั้น ผู้ทำวิจัยจึงได้คิดพัฒนาสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางต้นแบบขนาดเล็ก สำหรับการผสมน้ำยางกับสารเคมี เพื่อเตรียมน้ำยางคอมปาวด์สำหรับทำผลิตภัณฑ์น้ำยาง และเพื่อเป็นการทดสอบสูตรน้ำยางคอมปาวด์ก่อนที่จะนำสูตรนั้นไปใช้จริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัลคาไนซ์

2.1.1 ความจำเป็นในการผสมยางกับสารเคมี

ยางแตกต่างจากพลาสติกทั้งหลาย เนื่องจากยางไม่สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้โดยตรงต้องใส่สารเคมีต่าง ๆ เข้าไปในยางเพื่อให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ จึงจะสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ (พรพรรณ และคณะ. 2540)

เหตุผลของการที่จะต้องใส่สารเคมีเข้าไปในยาง เพราะยางดิบมีข้อเสียหลายประการ คือ

1. ยางดิบเป็นเทอร์โมพลาสติก
2. ยางดิบมีสมบัติเป็นวิสโคลาสติก แสดงสมบัติบางส่วนเป็นพลาสติก บางส่วนเป็นอีลาสติก

3. ยางดิบมีสมบัติค่อนข้างจำกัด ไม่พอที่จะนำไปใช้งานได้
4. ยางดิบมีราคาค่อนข้างแพง

สมบัติเทอร์โมพลาสติก

ยางมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก หมายความว่า ยางจะอ่อนตัวและไหลได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ที่จริงเป็นสมบัติที่ดีเพราะเหมาะที่จะนำยางไปแปรรูป ดังนั้นกระบวนการรีดแผ่น ฯลฯ มักจะกระทำ ณ อุณหภูมิระหว่าง 80-100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไหลง่ายและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวเรียบ

อย่างไรก็ตามสมบัติเทอร์โมพลาสติกเป็นข้อเสียอย่างร้ายแรงในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะนิ่มเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และสมบัติของยางจะเปลี่ยนไป การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอาจจะเกิดมาจากสภาวะแวดล้อม หรือเกิดจากการใช้งานของยางขณะที่มีการหักงอเมื่อกด เช่น ในยางรถยนต์ เป็นต้น

สมบัติวิสโคอีลาสติก

ยางในอุดมคติ ควรมีสมบัติเป็นพลาสติกล้วนในขณะการแปรรูป ไม่ควรมีสมบัติเป็นอีลาสติก ถ้าเป็นเช่นนั้นจริง ยางจะไม่พองตัวในขณะเอ็กซ์ทรูด และไม่หดตัวขณะทำการรีดแผ่น แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้น เพราะยางมีสมบัติเป็นวิสโคอีลาสติก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านการออกแบบ โดยเฉพาะเมื่อต้องการผลิตภัณฑ์รูปร่างซับซ้อน ในทางกลับกันผลิตภัณฑ์ยางจะใช้งานเนื่องมาจากสมบัติเป็นอีลาสติก การมีค่าพลาสติกสูงทำให้ยางมีความอยู่ตัวคงรูป (Set) ตัวสูงในการใช้งาน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในงานบางอย่าง เช่น งานซีล เป็นต้น

สมบัติความสามารถค่อนข้างจำกัด

ผลิตภัณฑ์ยางต่างชนิดกันมีความต้องการสมบัติที่แตกต่างกันอย่างมาก เช่น อ่อนและยืดได้มาก เช่น ยางยืด หรือยืดและแข็งปานกลาง เช่น ยางรถยนต์ ไปจนถึงแข็งและยืดไม่ได้เลย เช่น หม้อเบตเตอรี หรือในผลิตภัณฑ์ยางลบ จะต้องให้มีการสึกหรอมาก แต่ในทางกลับกันพื้นรองเท้าจะต้องมีการสึกหรอน้อย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ยางแต่ละตัวย่อมมีสมบัติที่ต้องการแตกต่างกันเพื่อใช้งานได้ตามความต้องการ

ต้นทุน

ต้นทุนต่อน้ำหนักหรือต่อปริมาตร มีค่าแตกต่างกันมากตั้งแต่ยางธรรมชาติที่มีราคาต่ำ เช่น ยางธรรมชาติหรือยางเอสปีอาร์ ไปจนถึงยางที่มีราคาแพงมาก เช่น ยางซิลิโคนหรือยางฟลูออโรคาร์บอน ที่ราคาแพงกว่ายางธรรมชาติประมาณ 40-50 เท่าตัว ผลิตภัณฑ์ยางที่มีอยู่ในตลาดและมีการแข่งขัน มีต้นทุนวัตถุดิบเป็นตัวกำหนดราคาผลิตภัณฑ์ที่สำคัญมาก การใส่ตัวเติมที่มีราคาถูก เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต จะเป็นการลดต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ยางได้อย่างมาก

เหตุผลของการใส่สารเคมีเข้าไปในยาง

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ทำให้ทราบเหตุผลที่จำเป็นต้องใส่สารเคมีเข้าไปในยาง โดยมีเป้าหมายหลักอยู่ 3 ประการที่ต้องใส่สารเคมีลงไปนยางคือ

1. เพื่อให้ได้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีสำหรับการนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์
2. เพื่อให้สะดวกในการแปรรูปของโรงงาน
3. เพื่อลดต้นทุน ทำให้สามารถแข่งขันในตลาดได้

เป้าหมายหลักทั้ง 3 ประการบางครั้งอาจขัดแย้งกัน จึงต้องหาสูตรสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการใส่เข้าไปในยางเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายหลักทั้ง 3 ประการ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตออกจำหน่ายได้

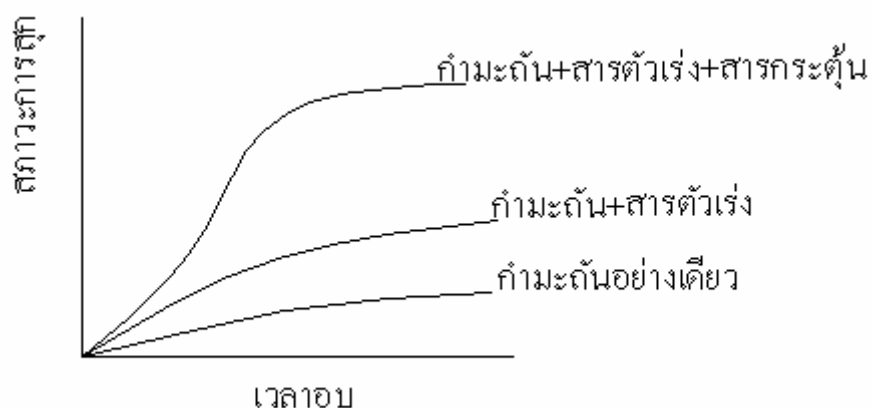
2.1.2 ระบบสารวัลคาไนซ์

การวัลคาไนซ์เป็นการก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง เช่น

1. เปลี่ยนจากสมบัติเทอร์โมพลาสติกเป็นสมบัติเทอร์โมเซต
2. เปลี่ยนจากสมบัติกึ่งพลาสติกกึ่งอีลาสติกเป็นสมบัติอีลาสติก
3. เปลี่ยนจากการละลายในตัวทำละลายเป็นไม่ละลาย

ดังนั้นการวัลคาไนซ์จึงเป็นการแก้ไขข้อเสียของยางบางประการที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบการวัลคาไนซ์ที่ใช้มากที่สุด คือ ระบบการใช้กำมะถัน ถึงแม้ว่า การใช้กำมะถันจะจำกัดอยู่ในกลุ่มของยางที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเท่านั้น ยังมียางหลายชนิด เช่น ยางธรรมชาติ ยางเอสปีอาร์ ยางไนไตรล์ มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล แต่ยางบางชนิด เช่น ยางอีพีเอ็ม อาจจะปรับโมเลกุลโดยการใส่ไดอีนโมโนเมอร์เข้าไป เพื่อให้สามารถวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถันได้ การเชื่อมโยงโดยใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียว แม้กระทั้ง ณ อุณหภูมิสูงที่ 160 องศาเซลเซียส จะเป็นไปได้ช้ามาก แต่การใส่สารตัวเร่งเข้าไปเพียง

เล็กน้อยจะลดเวลาการวัลคาไนซ์ลง การใช้สารกระตุ้นจะทำให้ยางสุกดีและใช้กำมะถันอย่างมีประสิทธิภาพขึ้น สภาวะการสุกแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณพันธะเชื่อมโยงกับเวลาของระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน
ที่มา: พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540.

ระบบวัลคาไนซ์ทั่วไปที่ใช้กับยางธรรมชาติ มีดังนี้

กำมะถัน	2.5	phr	
ซิงค์ออกไซด์	5.0	phr	สารกระตุ้น
กรดสเตียริก	1.0	phr	สารกระตุ้น
MBT (หรือ CBS)	1.0	phr	สารตัวเร่ง

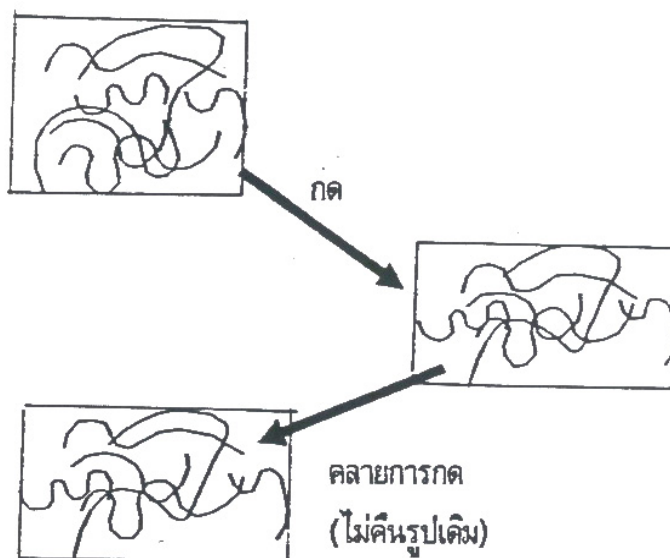
(phr = parts per hundred rubber by weight, ส่วนโดยน้ำหนักต่อยาง 100 ส่วน)

ระดับปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่ต้องการค่อนข้างต่ำ ปกติประมาณ 1 เปอร์เซ็น ของจุดที่สามารถเชื่อมโยงได้ในโมเลกุลของยางธรรมชาติ หากทำการเชื่อมโยงมากเกินไปจะทำให้ยางยึดได้น้อย โมดูลัสสูงและความต้านทานแรงดึงลดต่ำลง

การวัลคาไนซ์

เนื่องจากโมเลกุลของยางมีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเชือกด้าย เมื่อนำยางแผ่นดิบมาบด ทำให้ยางมีขนาดโมเลกุลประมาณ 80,000 -120,000 โมเลกุลเกาะอยู่ด้วยกันอย่างหลวม ๆ เคลื่อนไหลผ่านไปมาได้ง่ายทำให้ไม่สามารถรักษารูปร่างได้ ทำให้ความต้านทานแรงดึงต่ำ และละลาย

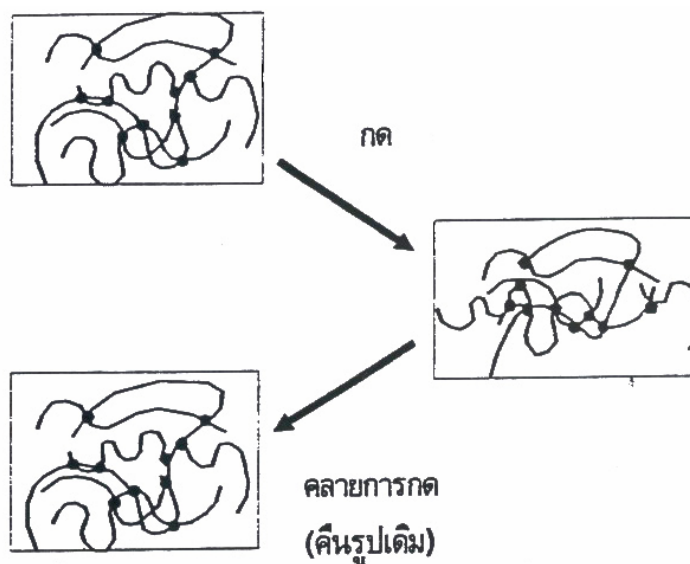
ในตัวทำลายลาย สมบัติเหล่านี้ทำให้ยางดิบที่บดแล้วไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อกดแล้วคลายการกดจะไม่คืนรูปเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะทั่วไปของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์

ที่มา: พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540.

การวัลคาไนซ์เปรียบเสมือนกับการจับโมเลกุลของยางมาผูกเข้าไว้ด้วยกัน แต่ลักษณะการผูกไม่ใช่เป็นแบบรวบมัดพ่อนกั้งไม้ แต่มีลักษณะเป็นการมัดแต่ละเส้นไว้มากกว่า จนที่สุดโมเลกุลของยางจะยึดติดกันคล้าย ๆ กับเป็นร่างแห เมื่อกดแล้วคลายการกดจะคืนรูปเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะการยึดโมเลกุลของยางในการวัลคาไนซ์

ที่มา: พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540.

การที่โมเลกุลยึดด้วยกัน ทำให้ยางมีความสามารถที่จะรักษารูปทรง ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น และไม่ละลายในตัวทำละลายเพียงแต่จะพองขึ้นเท่านั้น หากว่าโมเลกุลผูกไว้ด้วยกันอย่างแน่นหนา การพองตัวในการทำละลายก็จะน้อยลง

วิธีการวัลคาไนซ์

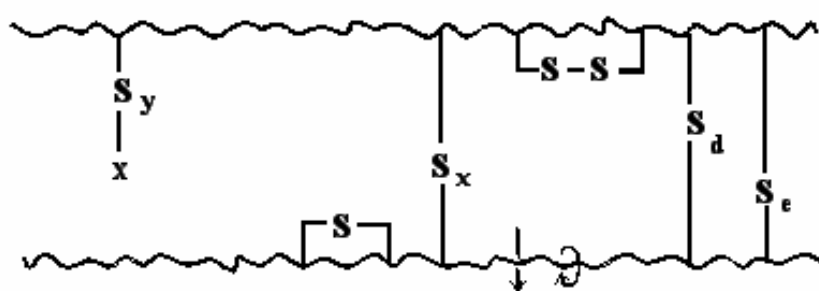
วิธีการวัลคาไนซ์ คือ การใช้กำมะถันยึดโมเลกุล หรือวิธีการผูกโมเลกุลของยาง ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของยางว่าปมที่ผูกโมเลกุลนั้นเป็นพันธะทางเคมีแบบใด อาจเป็นพันธะโควาเลนต์หรือไฮออนิกก็ได้

การเชื่อมโมเลกุลยางโดยใช้กำมะถัน

โมเลกุลยางที่สามารถวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันต้องมีพันธะคู่ที่ไวในการทำปฏิกิริยาพันธะคู่ดังกล่าวมักมาจากสารที่มีพันธะคู่ต่อกันแบบสลับ (Conjugate) ขณะที่เปโนโมโนเมอร์ โมเลกุลดังกล่าวได้แก่

1. ไอโซพรีน เป็นส่วนของยางธรรมชาติ ยางบิวไทล์ และ ยางฮาโลบิวไทล์ เป็นต้น
2. บิวทาไดอีน เป็นส่วนหนึ่งของ ยางเอสปีอาร์ ยางบีอาร์ และยางไนไตรล์ เป็นต้น
3. สารอื่น (Conjugate Diene) ที่เจาะจงใส่เข้าไปเพื่อให้ยางวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันได้ เช่น ยางอีพีดีเอ็ม เป็นต้น

พันธะที่เกิดขึ้นในการผูกด้วยกำมะถันไม่ได้เป็นแบบง่าย ๆ แต่เป็นดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะต่าง ๆ ของกำมะถันที่ยึดโมเลกุลของยาง

ที่มา: พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540.

สัดส่วนของพันธะกำมะถันชนิดต่าง ๆ ที่ยึดโมเลกุลของยางขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดและปริมาณของสารตัวเร่ง
2. สัดส่วนระหว่างสารตัวเร่งกับกำมะถัน
3. เวลาของการวัลคาไนซ์

ถ้าระบบใดที่ให้กำมะถันน้อยต่อการยึด 1 พันธะ เรียกว่าระบบใช้กำมะถันอย่างมีประสิทธิภาพ (Efficient Vulcanizing system, EV)

2.1.3 รูปแบบของสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง

สารเคมีในสูตรสำหรับน้ำยางมีหลายชนิดทั้งของแข็งและของเหลว หลักการสำคัญของสารเคมีที่ใช้กับน้ำยางคือ ต้องเข้ากันได้กับของเหลวที่อยู่ในน้ำยาง คือต้องเข้ากันได้กับน้ำ ดังนั้นสารเคมีที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของดิสเพอซัน (Dispersion) ส่วนสารเคมีที่เป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำจะต้องอยู่ในรูปของอิมัลชัน (Emulsion) เนื่องจากการผสมสารเคมีเข้าไปในน้ำยางทำได้เพียงการกวนให้เข้ากันเท่านั้น ดังนั้นขนาดอนุภาคของสารเคมีควรมีขนาดเล็กและต้องมีการควบคุมขนาดให้เป็นไปตามที่กำหนด สารเคมีบางตัวอาจมีอนุภาคโตกว่าน้ำยางมาก เช่น อาจโตกว่า 20-30 เท่าตัว หรือสารเคมีบางชนิดอาจมีขนาดเล็กก็จริงแต่เกาะอยู่รวมกันเป็นก้อนดูเหมือนว่ามีขนาดอนุภาคใหญ่ สารเคมีที่มีขนาดใหญ่ทำให้เมื่อผสมกับน้ำยางแล้วเกิดการตกตะกอนได้ง่าย ทำให้น้ำยางกับสารเคมีไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่กำหนด

ตามทฤษฎี ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับใช้กับน้ำยาง ควรมีอนุภาคใกล้เคียงกับน้ำยาง จะทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นน้อยที่สุดและเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีด้วย

การเตรียมสารดิสเพอซัน (Dispersions)

สารเคมีที่เป็น Dispersions ต้องมีสมบัติเป็นคอลลอยด์เหมือนกับน้ำยางให้มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นด้านประจุบนอนุภาคสารหรือ pH หรือชนิดของสบู่ หรือ Stabilizer และสารเคมีที่ใช้เตรียม Dispersions ประกอบด้วย ตัวสารเคมี Dispersing Agent น้ำ Stabilizer ต่าง ตัวควบคุมความหนืดสำหรับต่าง และ Stabilizer ควรให้เป็นชนิดและปริมาณเดียวกันที่มีอยู่ในน้ำยาง

ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง

ในการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีสูตรที่แตกต่างกันออกไป แต่หลักใหญ่ ๆ แล้วสูตรเคมีสำหรับน้ำยาง จะประกอบด้วยสารเคมีต่อไปนี้ (พรพรรณ และคณะ, 2540)

น้ำยาง (Latex 60 %)

สารช่วยเพิ่มความเสถียร (Stabilizer)

กำมะถัน (Sulphur)

สารตัวเร่ง (Accelerators)

แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

สารตัวเติม (Filler)

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

สารช่วยการแปรรูป (Processing Agent)

สารช่วยเพิ่มความเสถียรของน้ำยาง (Stabilizers)

ในการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง ต้องคำนึงถึงความเสถียรของน้ำยางให้มาก น้ำยางไม่เสถียรโดยมากจะปรากฏออกมาในลักษณะใดลักษณะหนึ่งใน 3 ลักษณะ ดังนี้

1. Coagulation น้ำยางจับตัวเป็นก้อนเดี่ยว เหลือชั้นน้ำชุ่มไว้
2. Gelation น้ำยางจับตัวเป็นก้อนแบบวุ้น มีปริมาตรเดียวกับน้ำยางเดิม ไม่เห็นชุ่มน้ำ ใดๆ แยกออกมาอย่างชัดเจน
3. Flocculation น้ำยางจับตัวเป็นก้อนเล็ก ๆ เหลือชุ่มสีขาวขุ่น

ส่วนความเสถียรของน้ำยาง หมายถึง ความสามารถในการรักษาสภาพของความเป็นน้ำยางได้ ความเสถียรของน้ำยางสามารถเพิ่มขึ้นโดยใช้สาร Stabilizers และน้ำยางที่ไม่เสถียรจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน ใช้ทำผลิตภัณฑ์ไม่ได้อีกต่อไป เช่น ถ้านำไปทำถุงมือ ก็จะเป็นก้อน เป็นเม็ด อยู่ที่ผิวถุงมือ คู่มือสวย และอาจทำให้เกิดรอยร้าวได้ ดังนั้น ในการทำผลิตภัณฑ์จำเป็นที่จะต้องใส่สารเพื่อปรับสภาพความเสถียรของน้ำยางด้วยทุกครั้ง

กำมะถัน (Sulphur)

ปริมาณของกำมะถันที่ใช้ในน้ำยางมีผลต่อสมบัติทางกายภาพเหมือนกับที่ใช้ในน้ำยางแห้ง คือ การใช้กำมะถันมากขึ้น ทำให้น้ำยางมีค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยืดลดลง และค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วค่อยลดลง ปริมาณกำมะถันที่ใช้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ เช่น ลูกโป่งจะต้องมีการเป่าลม โมดูลัสต้องต่ำความยืดต้องสูง ดังนั้นปริมาณของกำมะถันจะใช้ประมาณ 0.5 phr หรือในกรณีของถุงมือ ความยืดไม่มากเท่ากับลูกโป่ง โมดูลัสจะต้องไม่สูงจนเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้ผู้ใช้เกิดความล้า แต่ขณะเดียวกันค่าความต้านทานแรงดึงต้องสูงอยู่ในเกณฑ์ด้วย ดังนั้นปริมาณกำมะถันจึงใช้พอประมาณ คือ 1.5 phr

สารตัวเร่ง (Accelerators)

เนื่องจากน้ำยางไม่มีกระบวนการที่เกิดความร้อนในขณะการแปรรูป ดังนั้น สารตัวเร่งจึงใช้จำพวก Dithiocarbamate ได้ และสารตัวเร่งที่ใช้มักจะต้องเป็นชนิดที่ไม่มีฤทธิ์เป็นกรด ฉะนั้นโดยทั่วไปมักใช้ชนิดที่เป็นเกลือสังกะสี หรือเกลือโซเดียม ตัวอย่างของสารเคมีที่นิยมกันมากคือ Zinc Diethyldithiocarbamate (ZDEC) เป็นต้น บางครั้งที่จะต้องให้โมดูลัสของยางสูงเป็นพิเศษ มักใช้สาร Thiazole และเสริมให้เร็วขึ้นด้วย ZDEC ตัวอย่างในกรณีนี้ได้แก่ ยางยืด เป็นต้น

แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางมีลักษณะเป็นผิวบาง ยางจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย จำเป็นที่จะต้องใช้อันติออกซิแดนท์ในสูตรยางเสมอไป การเลือกใช้แอนติออกซิแดนท์ขึ้นอยู่กับความเป็นพิษ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ สี ข้อกำหนดการเสียด (Ageing) ที่ต้องการอื่น ๆ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์จากน้ำยางมักมีการระเหยเอาน้ำออก การวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน แอนติออกซิแดนท์ที่ใช้จะต้องเป็นชนิดทนต่อ Heat Ageing ด้วย ปริมาณที่ใช้ตั้งแต่ 0.5 phr ไปจนถึง 1.5 phr แล้วแต่ชนิดของแอนติออกซิแดนท์ หรือบางครั้งอาจจะใช้ถึง 2 ตัวร่วมกัน

สารตัวเติม (Filler)

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจะไม่ค่อยได้ใช้สารตัวเติมเท่าใดนัก เนื่องจากสารตัวเติมไม่เสริมให้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางมีความแข็งแรงขึ้น แต่กลับจะทำให้มีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นสารตัวเติมที่ใช้น้ำยางจึงไม่ใช่จำพวกเขม่าดำหรือซิลิกา แต่ใช้สารตัวเติมอื่น เพื่อที่จะใช้ลดต้นทุน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต หรือดินขาวแทน ปริมาณการใช้สารตัวเติมเหล่านี้อาจใช้ตั้งแต่ 10 phr เช่น ถุงมือที่ใช้ในบ้าน ไปจนถึง 200 หรือ 300 phr ในผลิตภัณฑ์บางประเภท

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ซิงค์ออกไซด์ใส่เข้าไปในสูตรของน้ำยาง เพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

1. ใช้เป็นสารกระตุ้นในการวัลคาไนซ์
2. ใช้เป็นสารควบคุมการไหลของน้ำยางในระหว่างการแปรรูป โดยจะเพิ่มความหนืดของน้ำ

ยาง

โดยทางกลับกัน การมีซิงค์ออกไซด์ในบางครั้งอาจจะก่อให้เกิดความหนืดมากเกินไป ที่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Zinc Oxide Thickening จนถึงบางครั้งเกิดการจับตัวแบบ Gelation ขึ้นมาได้ การมี pH สูง เช่น การใส่ KOH จะลดความหนืดดังกล่าวลงได้ ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสมในน้ำยางควรเริ่มตั้งแต่ 1 phr ขึ้นไป แต่การมีซิงค์ออกไซด์มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีขุ่น ไม่ใส

สารช่วยการแปรรูป (Processing agent)

สารเคมีบางตัวที่ใส่ลงในสูตรน้ำยางเพื่อใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะ เช่น

- สบู่ เพื่อให้ น้ำยาง เกิดเป็นฟอง ในกรณีทำฟองน้ำ
- ซิลิโคนอีมีลชัน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเป็นฟอง
- Polyvinyl Methyl Ether (PVME) เพื่อให้ น้ำยาง จับตัว เมื่อได้รับความร้อน เช่น กรณีทำ

ห้วนม

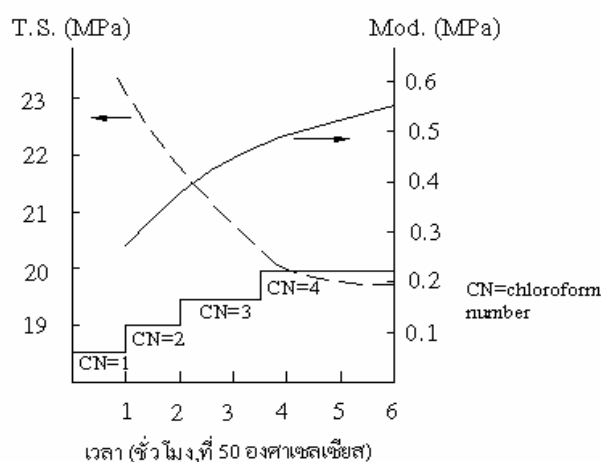
- โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ ใส่ลงไป ในน้ำยาง เพื่อให้ น้ำยาง จับตัว เมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ซึ่งใช้ในกระบวนการทำฟองน้ำ

2.1.4 การบ่มน้ำยาง

สารเคมีที่ใส่ลงไป ในสูตรน้ำยางมักจะกวนเข้าด้วยกันและเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง การกระทำดังกล่าวเป็นการบ่มน้ำยางหรือ Maturation ถึงสำหรับการบ่มน้ำยางใช้สำหรับการนำน้ำยางและสารเคมีผสมกันและกวนอย่างช้า ๆ การบ่มใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน ณ อุณหภูมิห้อง อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในน้ำยาง เช่น

- เกิดการแลกเปลี่ยน Surfactant ที่อยู่ในน้ำยาง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอขึ้น
- ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นบางส่วนในน้ำยาง
- ทำให้ระยะเวลาการวัลคาไนซ์จริงในกระบวนการลดน้อยลง
- ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มยางดีขึ้น เพิ่ม Wet Gel Strength

แต่ถ้าบ่มนานเกินไปก็จะทำให้ยางเปื่อยได้ รูปที่ 5 แสดงผลของระยะเวลาในการบ่มต่อสมบัติทางกายภาพ



รูปที่ 5 ผลของระยะเวลาในการบ่มต่อสมบัติทางกายภาพ

ที่มา: บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. 2538.

นอกจากสารเคมีที่ใส่ในสูตรน้ำยางแล้ว การทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจะต้องมีกระบวนการที่ทำให้น้ำยางจับตัว ได้แก่

- เกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมไนเตรต ใช้ในการทำถุงมือ ลูกโป่ง
- กรดอะซีติก ใช้ในการทำสายยางยืด

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง

ผลิตภัณฑ์ยางมีมากมายหลายชนิด ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดต้องผ่านขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี และการบ่มน้ำยาง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางมีดังนี้

- ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการชุบน้ำยาง เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย และหวนมยาง
- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำยางเป็นกาว เช่น ใช้น้ำยางเคลือบไปบนหลังพรมเพื่อให้เส้นใยพรมติดกับ

ผ้าพื้น

- ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน
- สายยางยืด
- พุกใยขนสัตว์หรือใยคาบมะพร้าว ซึ่งใช้น้ำยางเป็นตัวประสานระหว่างเส้นใยนั้น
- ท่อสายยางน้ำเกลือ
- วัสดุประสานเศษหนัง ทำแผ่นหนังอัด
- การน้ำยางประกบผ้า เช่น สำหรับประกบผ้าในรองเท้าผ้าใบ เป็นต้น
- ตุ๊กตา หน้ากาก ฯลฯ ที่ได้จากการหล่อน้ำยาง

พรพรรณ และคณะ (2540) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสูตรน้ำยางในการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

สูตรยางทำลูกโป่ง

	แห้ง	เปียก
น้ำยางข้น 60%	100	167
โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%	0.5	5.0
กำมะถัน 50%	0.5	1.0
ZDBC 50%	0.75	1.5
แอนติออกซิแดนท์ 50%	1.0	2.0
ซิงค์ออกไซด์ 50%	1.0	2.0

สูตรยางทำสายยางยืด

	แห้ง	เปียก
น้ำยางข้น 60%	100	167
โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%	0.4	4.0
โปตัสเซียมลอเรต 20%	0.5	2.5
กำมะถัน 50%	1.5	3.0
ZMBT 50%	1.5	3.0
ZDBC 50%	0.25	0.5
แอนติออกซิแดนท์ 50%	5.0	10.0
ซิงค์ออกไซด์ 50%	1.5	3.0

สูตรถุงมือบ้านและถุงมือผ้าตัด

	แห้ง	เปียก
น้ำยางข้น 60%	167	167
โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%	5.0	5.0
โปตัสเซียมลอเรต 20%	2.5	2.5
กำมะถัน 50%	3.0	3.0
ZDBC 50%	2.0	2.0
แอนติออกซิแดนท์ 50%	2.0	2.0
ซิงค์ออกไซด์ 50%	2.0	2.0

2.2 ทฤษฎีเพื่อการออกแบบ

2.2.1 การคำนวณกำลังขับของหม้อกวน (Power in agitation)

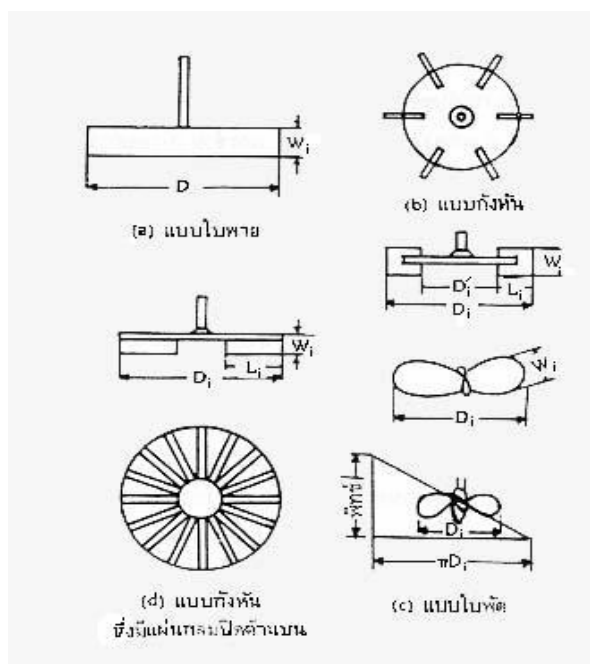
วิวัฒน์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกวนพบว่า การกวนสามารถแบ่งประเภทออกตามสภาพของที่นำมากวนดังนี้ การกวนระหว่างของเหลวกับของเหลว ของเหลวกับก๊าซ ของเหลวกับของแข็ง และของแข็งกับของแข็ง ในการคำนวณหา กำลังขับของหม้อกวน ก่อนอื่นต้องกำหนดขนาดต่าง ๆ ของหม้อกวนก่อน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความสูงของถัง ระดับของเหลวภายในถัง ขนาดและชนิดของใบกวน และจำนวนรอบการหมุนของใบกวน

รูปร่างของใบกวน

รูปร่างของใบกวนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีมากมาย แต่สามารถแบ่งออกเป็นแบบมูลฐานได้ 3 แบบดังนี้ (รูปที่ 6)

1. แบบใบพาย (Paddle) ดังรูปที่ 6 (a) ลักษณะการไหลของของเหลวภายในถังจะไหลวนเป็นวงกลมตามแนวเส้นรอบวงของถัง
2. แบบกังหัน (Turbine) ดังรูปที่ 6 (b) ลักษณะการไหลของของเหลวภายในถัง จะไหลในแนวรัศมีของถัง (ระหว่างก้านใบกวนกับผนังของถัง)
3. แบบใบพัด (Propeller) ดังรูปที่ 6 (c) ลักษณะการไหลของของเหลวภายในถังจะไหลในแนวแกนของก้านใบกวนในลักษณะขึ้นลงในแนวดิ่ง

ในรูปที่ 6 (d) เป็นใบกวนแบบกังหัน ซึ่งมีแผ่นกลมปิดอยู่ด้านบน (Vaned Disk Turbine) ใบกวนแบบนี้นิยมใช้ในถังกวนซึ่งมีการฉีดก๊าซขึ้นมาจากก้นถัง ทำให้การกระจายตัวของฟองอากาศเป็นไปอย่างทั่วถึง



รูปที่ 6 แบบของใบกวน

ที่มา: วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล และคณะ. 2543.

กำลังงานในการกวนของเหลว

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังงานสำหรับการใช้ในการกวนของเหลวมีดังนี้

1. คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวที่จะกวนได้แก่ ความหนาแน่น (ρ , กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และความหนืด (μ , กิโลกรัมต่อเมตรวินาที)
2. ขนาดและชนิดของใบกวน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_i , เมตร) ความสูง (W_i , เมตร) และรอบของการหมุน (n , รอบต่อนาที)
3. อัตราส่วนระหว่างขนาดของหม้อกวนกับใบกวน ได้แก่ D_t/D_i , H_i/D_i และ H_i/D_i โดยที่ D_t (เมตร) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อกวน H_i (เมตร) คือ ความลึกของของเหลวในหม้อกวน และ H_i (เมตร) คือ ระยะสูงจากก้นถึงกวนถึงใบกวน และมีหรือไม่มีแผ่นกั้นขอบถัง (Baffles) เป็นต้น

วิธีการคำนวณที่สะดวกที่สุดใช้วิธีการคำนวณโดยอ่านค่าจากเส้นกราฟของผลการทดลอง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขกำลัง (Power Number = อัตราส่วนระหว่างแรงภายนอกต่อความเฉื่อยของของเหลว) และตัวเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number = อัตราส่วนระหว่างความเฉื่อยของของเหลวต่อแรงของความหนืดของของเหลว) โดยมีค่าดังสมการ

$$N_p = \frac{Pg_c}{n^3 D_i^5 \rho} \quad \dots(1)$$

$$N_{Re} = \frac{n D_i^2 \rho}{\mu} \quad \dots(2)$$

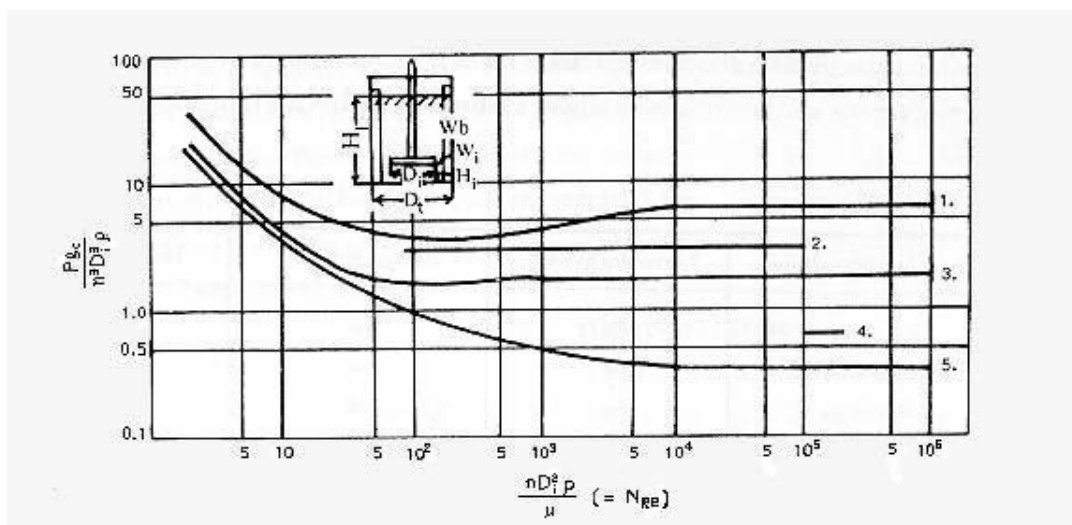
เมื่อ P คือ กำลังของหม้อกวน (กิโลกรัมเมตรต่อวินาที)

g_c คือ สัมประสิทธิ์ความโน้มถ่วง เท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

N_p คือ ตัวเลขกำลัง

N_{Re} คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ส์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขกำลังและตัวเลขเรย์โนลด์ส์ หมายเลขของเส้นโค้งในรูปบอกถึงขนาดและชนิดของใบกวนดังนี้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_p และ N_{Re}

ที่มา: วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ. 2543.

ตารางที่ 1 สัดส่วนของใบกวนตามรูปที่ 7

ชนิดของใบกวน	D_t/D_i	H_t/D_i	H_b/D_i	แผ่นกั้น		เส้นโค้ง หมายเลข
				จำนวนแผ่น	W_b/D_t	
กัณฑ์แบบมาตรฐานหรือแบบมีแผ่นกลมปิดด้านบน ชนิด 6 ใบ $L_t/D_i = 0.25$, $W_t/D_i = 0.2$	3	3	1	4	0.10	1
กัณฑ์แบบมีแผ่นกลมปิดด้านบน ชนิด 16 ใบ, $L_t/D_i = 0.35$, $W_t/D_i = 0.1$	2.3	2.5		4	0.11	2
ใบกวนแบบใบพาย, $W_t/D_i = 0.25$	3	3		4	0.10	3
ใบกวนแบบใบพาย, $W_t/D_i = 0.25$	3	3.2		0	-	4
ใบกวนแบบใบพัดโดยมีพิทช์ = D_i	3	3		4	0.10	5

ที่มา: วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล และคณะ. 2543.

ในการใช้สัดส่วนตามรูปที่ 7 ถ้าหากสัดส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวกับหม้อกวนหรือใบกวนที่ต้องการจะคำนวณ แตกต่างจากตารางต้องคำนวณหาตัวคูณชดเชยประกอบกับตัวเลขที่อ่านได้จากรูปที่ 7 โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$f = \sqrt{\frac{(D_t/D_i)^* \times (H_t/D_i)^*}{(D_t/D_i) \times (H_t/D_i)}} \quad \dots(3)$$

โดยตัวแปรที่มีเครื่องหมาย * จะเป็นขนาดสัดส่วนของหม้อกวนที่กำลังคำนวณ และตัวแปรที่ไม่มีเครื่องหมายเป็นสัดส่วนของเส้นโค้งในรูปที่ 7 โดยกำลังของหม้อกวนสามารถหาได้ดังนี้

$$P = \frac{n^3 D_i^5 \rho N_P}{g_c} \quad \dots(4)$$

$$P^* = 0.013151 P \times f \quad \dots(5)$$

เมื่อ P คือ กำลังของหม้อกวนตามรูปที่ 7 (กิโลกรัมเมตรต่อวินาที)

P^* คือ กำลังของหม้อกวนที่กำลังคำนวณ (แรงม้า)

f คือ ตัวคูณชดเชย

2.2.2 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาโดยประมาณ

ในการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาส่วนใหญ่ยังไม่ทราบค่าโมเมนต์ดัดที่แน่นอน เพราะแรงยังไม่ทราบค่า จึงมีการคำนวณจากค่าโมเมนต์บิดและจำนวนรอบเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาได้โดยประมาณดังสมการที่ (6) (มานพ. 2545)

$$d_1 = C_1 \times \sqrt[3]{M_B} \quad \dots(6)$$

เมื่อ d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา (มิลลิเมตร)

M_B คือ โมเมนต์บิดขณะรับภาระ (นิวตันเมตร)

C_1 คือ แฟกเตอร์งานขึ้นอยู่กับโมเมนต์

C_1 เป็น แฟกเตอร์งานขึ้นอยู่กับโมเมนต์ โดยมีค่าดังนี้คือ

$C_1 = 6.9$ เมื่อ $\tau_{all} = 15$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับ St 37, St 42

$C_1 = 6.3$ เมื่อ $\tau_{all} = 20$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับ St 50, St 60

$C_1 = 5.8$ เมื่อ $\tau_{all} = 25$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเหล็กกล้าที่มีความเค้นสูงกว่า

การหาโมเมนต์บิด (Torsional Moment) หรือ ทอร์ก (Torque)

$$P_1 = \frac{M_t 2\pi n}{60} = \frac{M_t \pi n}{30} \quad \dots(7)$$

$$M_t = \frac{9550 P}{n} \quad \dots(8)$$

$$M_B = M_t C_B \quad \dots(9)$$

เมื่อ P_1 คือ กำลังงานระบุในเพลลา (กิโลวัตต์)

n คือ ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อนาที)

M_t หรือ T คือโมเมนต์บิดระบุ (นิวตันเมตร)

M_B คือ โมเมนต์บิดขณะรับภาระ (นิวตันเมตร)

C_B คือ แฟกเตอร์งานประเภทงาน

ในการคำนวณความเค้นในทางปฏิบัติจะมีค่า C_B ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าแฟกเตอร์ประเภทงาน C_B

ประเภทงาน	C_B
เครื่องกลทำงานด้วยไฟฟ้า	1.0 – 1.1
ชุดเครนเครื่องใส่ เครื่องยนต์ลูกสูบ	1.2 – 1.5
เครื่องตัด เครื่องปั๊ม	1.6 - 2.0
ค้อนกล เครื่องย่อยหิน เครื่องรีดโลหะ	2.0 – 3.0

ที่มา: มานพ ตันตระบัณฑิตย์. 2545.

2.2.3. การหาอัตราทดของเฟือง

เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนค่อนข้างน้อย ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เฟืองเพื่อทดความเร็วรอบของมอเตอร์ การหาอัตราทดเฟืองสามารถหาได้ ดังนี้

$$\frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{n_p}{n_g} = \frac{N_g}{N_p} \quad \dots(10)$$

เมื่อ ω_p คือ ความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวขับ (นิวตันเมตรต่อวินาที)

ω_g คือ ความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวตาม (นิวตันเมตรต่อวินาที)

n_p คือ ความเร็วรอบของเฟืองตัวขับ (รอบต่อนาที)

n_g คือ ความเร็วรอบของเฟืองตัวตาม (รอบต่อนาที)

N_p คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ

N_g คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม

2.2.4. อัตราการถ่ายเทความร้อน q

ถ้าเครื่องถ่ายเทความร้อนมีฉนวนความร้อนหุ้มตัวเครื่องไว้อย่างดี หรือไม่มีการสูญเสียความร้อน ปริมาณความร้อนที่ของไหลร้อนคายออกย่อมเท่ากับปริมาณความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับ ดังนั้นสามารถคำนวณหา q ได้จากสมการดังนี้

กรณีไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Phase):

$$q = MC_p \Delta T = mc_p \Delta t \quad \dots(11)$$

กรณีที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ (แต่ไม่เกิด Superheat หรือ Subcool):

$$q = mr \quad \dots(12)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (กิโลจูลน์)
 M, m คือ มวลของของไหลร้อนและเย็น (กิโลกรัม)
 C_p, c_p คือ ความร้อนจำเพาะของของไหลร้อนและเย็น (กิโลจูลน์ต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)
 r คือ ความร้อนแฝงของความควบแน่น (การระเหย) ของของไหลที่เปลี่ยนสถานะ (กิโลจูลน์ต่อกิโลกรัม)
 $\Delta T, \Delta t$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิภพ (2534) ได้หาเวลาที่จำเป็นของการผสมในถังผสมที่มีการกวนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเทคนิคการติดตาม ทั้งชนิดที่เป็นสารรังสีและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ถังผสมที่มีสัดส่วนตามมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24 เซนติเมตร และมีน้ำบรรจุอยู่ 24 เซนติเมตร โดยมีตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษา คือ ชนิดของใบกวนซึ่งเป็นแบบที่มีใบกวน 6 ใบ 3 ชนิด คือ แบบเปิด แบบติดบนจาน และใบเอียง 45 องศา ความเร็วรอบของการกวนอยู่ในช่วง 200- 400 รอบต่อนาที ตำแหน่งของใบกวนที่ระยะความสูงจากกันถึง 1/2 และ 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง อิทธิพลของแผ่นกั้นในการวิจัยนี้ พบว่าเวลาที่จำเป็นในการผสมในระบบดังกล่าวจากวิธีการทั้งสองมีแนวโน้มเหมือนกัน โดยค่าที่ได้จากวิธีการนำไฟฟ้ามีค่าสั้นกว่าเล็กน้อย ระบบการผสมที่มีเวลาที่จำเป็นในการผสมที่สั้นที่สุดมี 3 แบบคือ ถังผสมที่มีใบกวน 6 ใบแบบเปิด อยู่ในระยะความสูงเหนือกันถึง 1/2 และ 1/3 ของเส้น

ผ่านศูนย์กลางของถัง ความเร็วรอบในการกววน 400 รอบต่อนาที และมีแผ่นกั้น อีกแบบหนึ่งคือ ถังกววนที่มีใบกววนชนิด 6 ใบแบบติดตั้งบนจาน อยู่ในระยะความสูง $1/3$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที และมีแผ่นกั้น

ธีรยุทธ (2536) ได้ศึกษาภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีสัดส่วนมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20, 25 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ และมีน้ำบรรจุอยู่สูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังแต่ละใบ โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบต่อเนื่องที่มีการป้อนที่ตำแหน่งใบพัด และจุดออกที่ระดับความสูงของระดับน้ำ และติดตั้งจุดวัด 2 จุด คือ ที่ระดับใบพัด และที่จุดออก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนตัวแปรในการศึกษาคือ ชนิดของใบกววน ซึ่งเป็นใบกววนชนิดก้านแบน ที่มีใบกววน 6 ใบ 3 ชนิด คือ แบบเปิด แบบติดบนจาน และแบบใบพัดเอียง 45 องศา ความเร็วรอบของการกววนในช่วง 264.87-618.27 รอบต่อนาที ตำแหน่งของใบพัดกวนที่ระยะความสูงจากก้นถัง $1/2$ และ $1/3$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถัง ขนาดของถัง ทิศทางการหมุนของใบพัดเอียง 45 องศา อัตราการป้อนสาร และนอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ที่มีผลต่อระบบ โดยการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เวลาที่สารอยู่ภายในถังและเวลาที่ระบบเป็นเนื้อเดียวกัน จากการศึกษาพบว่า ใบกววน 6 ใบแบบติดบนจานที่ตำแหน่งความสูงจากก้นถัง $1/3$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถัง จะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถังและเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวกันที่สั้นที่สุด สำหรับถังใบใหญ่ จะให้เวลาที่สารอยู่ภายในถ้านานกว่าถังใบเล็ก โดยความเร็วรอบของใบพัดที่สูงจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ในถ้านานแต่เวลาในการผสมสั้นกว่าถังใบเล็ก ในระบบที่ใช้ใบพัดขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน จะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถังและเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวกันเร็วกว่าใบพัดมาตรฐาน แต่จะเกิดความปั่นป่วนสูงกว่าทำให้ควบคุมยากกว่าระบบที่ใช้ใบพัดขนาดมาตรฐาน ทิศทางการหมุนของใบพัดเอียง 45 องศา ในทิศที่ก่อให้เกิดกระแสขึ้นไปผิวหน้าของเหลวจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถ้านานกว่า แต่เวลาที่ระบบเป็นเนื้อเดียวกันสั้นกว่าทิศทางตรงกันข้ามและอัตราการไหลเข้าที่เร็วกว่าจะให้เวลาที่สารอยู่ในถ้านาน แต่เวลาในการผสมสั้นกว่าอัตราการไหลเข้าที่ช้ากว่า

3. วิธีการ

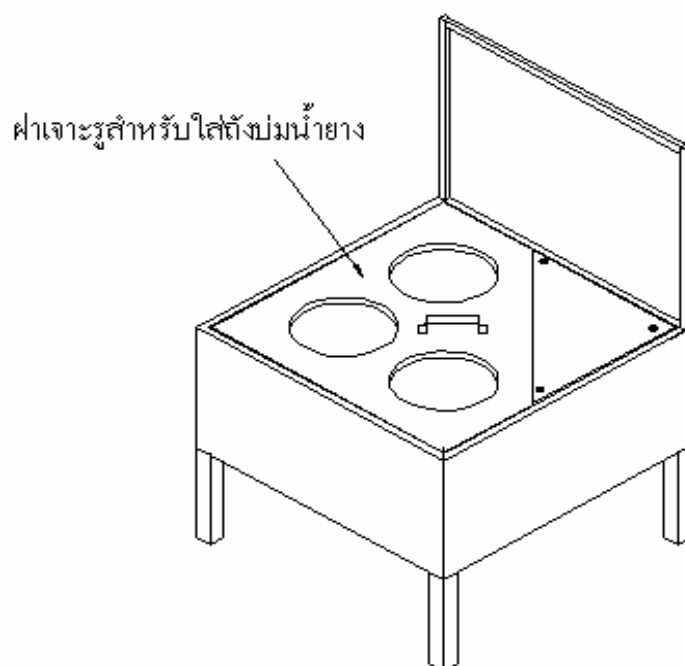
เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้ การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์ ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ทดสอบการบ่มน้ำยางจริงในห้องทดลอง โดยแสดงรายละเอียดรายการคำนวณต่าง ๆ และงบประมาณการสร้างเครื่อง ตามภาคผนวก ก

3.1 การออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์

การบ่มเพื่อให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ที่มีคุณภาพมีตัวแปรสำคัญ คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการบ่ม ดังนั้นในการออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางจะต้องมีใบกวนที่ดี เพื่อกวนน้ำยางได้อย่างทั่วถึง สามารถไล่ฟองอากาศออกจากน้ำยางได้ มีความเร็วที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศในน้ำยาง และมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของถังบ่มน้ำยาง เพื่อควบคุมให้ถังบ่มมีอุณหภูมิที่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม ถ้าอุณหภูมิของถังบ่มน้ำยางเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมจะทำให้ระยะเวลาในการบ่มไม่คงที่ หรือไม่สามารถกำหนดให้น้ำยางมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ได้ตามเวลาที่กำหนด ทำให้เกิดปัญหาตามมาทีหลังได้ เช่น ถ้าน้ำยางบ่มนานเกินไปจะทำให้น้ำยางไปสู่กระบวนการอื่นได้ช้าตามไปด้วย หรือต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีเร่งน้ำยางเพิ่มเติม และมีผลทำให้การผลิตล่าช้า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถึงที่ใช้ในการบ่มน้ำยางน่าจะควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อลดการสูญเสียในการผลิตดังกล่าวข้างต้น ในการออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์จะคำนึงถึงขนาดของอุปกรณ์บ่มน้ำยางเพื่อใช้ในการทดลอง จำนวนอุปกรณ์บ่มน้ำยางเพื่อลดเวลาในการทดลอง การปรับและควบคุมอุณหภูมิ ความสะดวกในการทำความสะดวก และการประยุกต์จากอุปกรณ์ที่มีขายตามร้านค้าทั่วไป เมื่อคำนึงถึงปัจจัยทั้งหมดข้างต้น ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์ ซึ่งอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ทำการออกแบบจะมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ถังควบคุมอุณหภูมิ และถังบ่มน้ำยาง โดยทั้ง 2 ส่วนสามารถถอดแยกออกจากกันได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การออกแบบถังควบคุมอุณหภูมิ

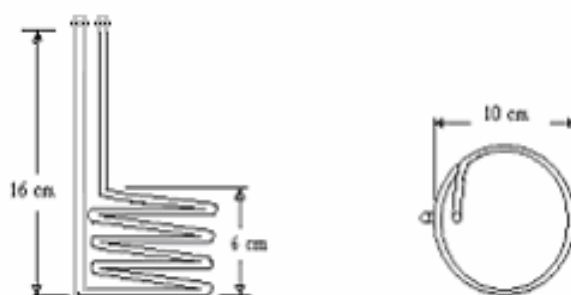
ถังควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่กักเก็บน้ำ และเป็นแท่นเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ เช่น แผงควบคุมฮีตเตอร์ ถังบ่มน้ำยาง ปั๊มน้ำวน ชุดควบคุม ถังทำจากสแตนเลส 304 หนา 1.6 มิลลิเมตร มีสองชั้นโดยมีใยแก้วเป็นฉนวน ถังมีขนาดภายในเท่ากับ 40 x 40 เซนติเมตร และสูง 18 เซนติเมตร มีการเจาะรูสองรูเป็นทางน้ำวน ฝาถังเจาะรู 3 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร เพื่อสวมถังบ่มน้ำยาง ด้านบนขอบถังเป็นแผงควบคุมสูง 30 เซนติเมตร มีขายกสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร ได้ถังมีรูระบายน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ถังควบคุมอุณหภูมิ

3.1.2 การออกแบบฮีตเตอร์

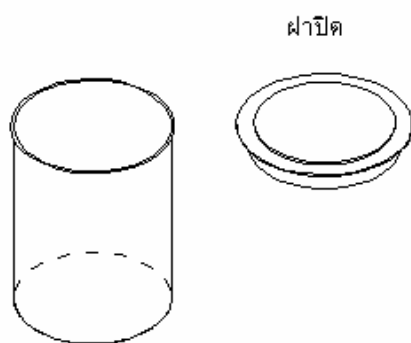
ฮีตเตอร์มีหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำและควบคุมอุณหภูมิของน้ำ เป็นฮีตเตอร์สแตนเลสแบบขดสปริง ขนาด 2,000 วัตต์ ต้องต่อเข้ากับชุดควบคุมอีกทีจึงจะสามารถใช้งานได้ ฮีตเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสปริง 10 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร และมีความสูงทั้งหมด 16 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ฮีตเตอร์สแตนเลสแบบขด

3.1.3 การออกแบบถังปัมน้ำยาง

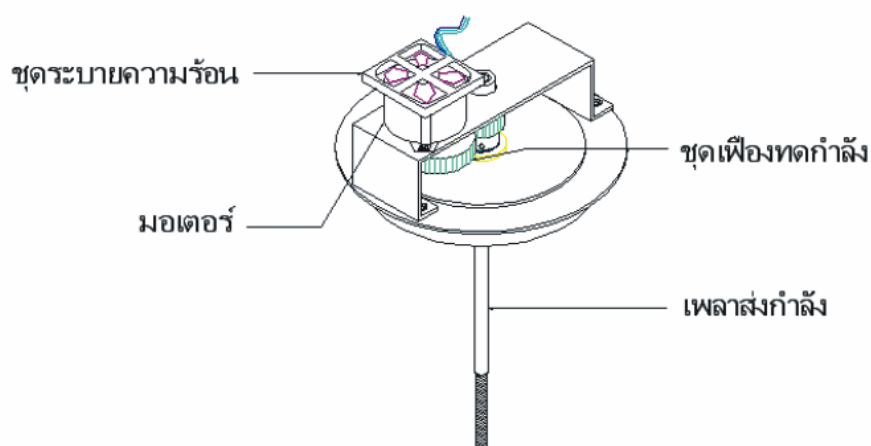
ตัวถังปัมน้ำยางเป็นถังสแตนเลสสำเร็จรูป มีหน้าที่บรรจุน้ำยางมีสองส่วน ส่วนแรก คือ ถังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ส่วนที่สองคือ ฝา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ถังปัมน้ำยาง

3.1.4 การออกแบบชุดส่งกำลังถังปัมน้ำยาง

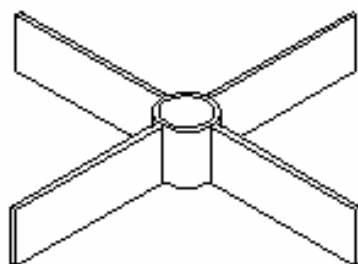
ชุดส่งกำลัง มีหน้าที่ส่งกำลังไปยังใบกวน ส่งกำลังด้วยมอเตอร์ขนาด 4 วัตต์ 220 โวลต์ มีแกนเพลลาต่อไปยังใบกวนและมีพัดลมระบายความร้อน เป็นพัดลมระบายความร้อนใน CPU ของคอมพิวเตอร์ ใช้ไฟกระแสตรง 12 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ชุดส่งกำลังถังปัมน้ำยาง

3.1.5 การออกแบบใบกวน

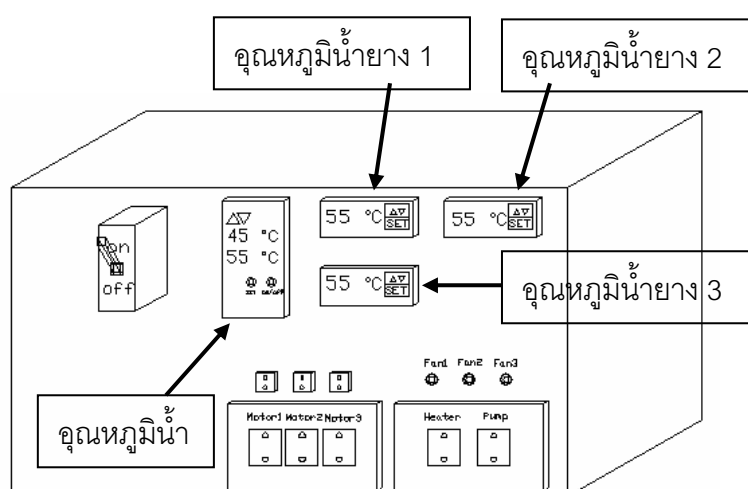
ใบกวนร่วมกับชุดส่งกำลัง มีหน้าที่กวนน้ำยางและสารเคมีให้เข้ากัน กวนให้น้ำยางที่ผสมกับสารเคมี แล้วได้รับความร้อนที่ผนังของถังบ่มน้ำยางอย่างสม่ำเสมอ และกวนไม่ให้สารเคมีตกตะกอน ใบกวนเป็นแบบกังหันแบบเปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ทำจากสแตนเลส ในหนึ่งชุดจะมีอยู่ 4 ใบกวน ติดอยู่กับแกนกลางซึ่งเป็นสกรู แต่ละใบกวนจะมีขนาด 1x3 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 12



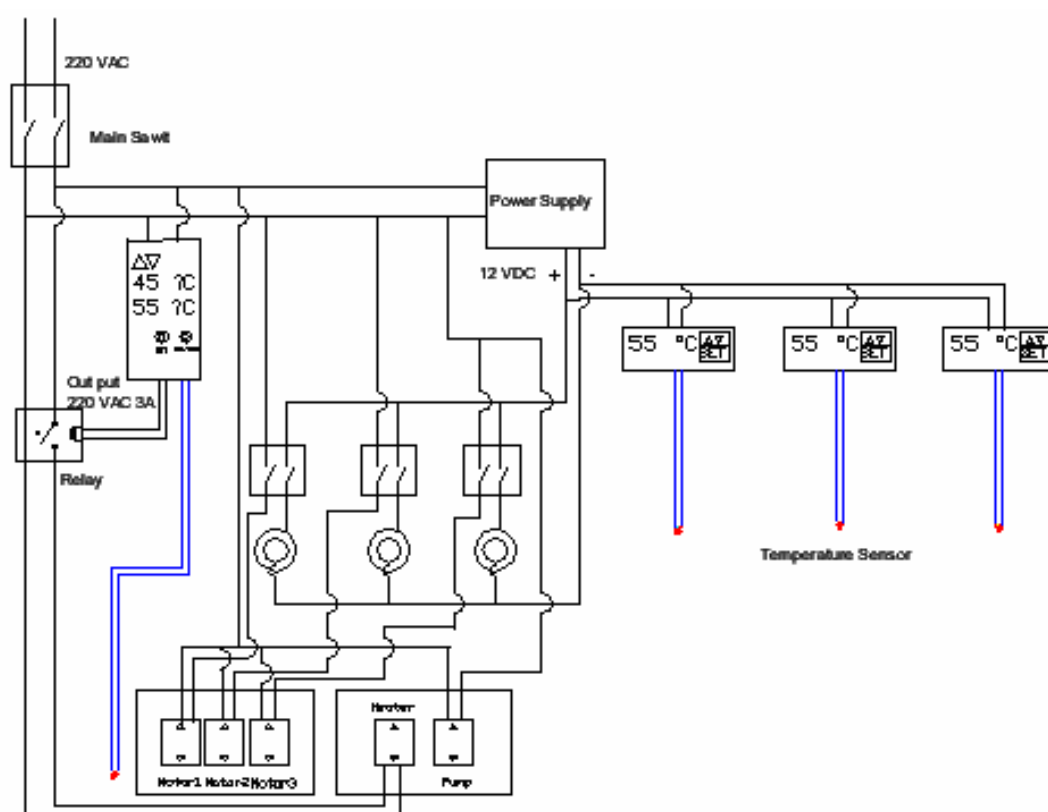
รูปที่ 12 ใบกวนชนิดกังหันแบบเปิด 4 ใบ

3.1.6 การออกแบบแผงควบคุมการทำงาน

แผงควบคุม มีหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น ฮีตเตอร์ ชุดส่งกำลัง ปั้มน้ำวน พัดลมระบายความร้อน หม้อแปลงไฟฟ้า และสวิตช์ต่าง ๆ ทำจากแผ่นพลาสติกเจาะช่องมีขนาดเท่ากับสวิตช์และชุดควบคุมต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 13 และผังวงจรการทำงานดังรูปที่ 14



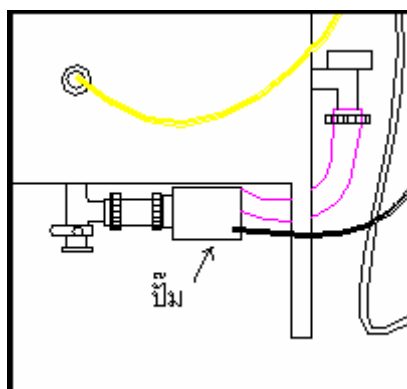
รูปที่ 13 แผงควบคุมการทำงาน



รูปที่ 14 วงจรการทำงานของแผงควบคุม (รายละเอียดในภาคผนวก ก.)

3.1.7 ระบบน้ำวน

ระบบน้ำวน มีหน้าที่กวนน้ำมีอุปกรณ์ติดตั้งในระบบ คือ ปั้มน้ำขนาด 13.5 วัตต์ 220 โวลต์ ท่อสายยาง วาล์วน้ำ ซึ่งระบบน้ำวนจะทำงานควบคู่กับฮีตเตอร์ เพื่อให้น้ำในถังบ่มน้ำอย่างมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ระบบกวนน้ำ

3.2 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของอุปกรณ์ปัมน้ำยางคอมปาวด์

การทดสอบและเก็บข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรม ทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องปัมน้ำยางต้นแบบ ได้แก่

1. ทดสอบสมรรถนะจำเพาะ
2. ความสามารถของฮีตเตอร์
3. ความสามารถในการกวน

3.3 การทดสอบการปัมน้ำยางในห้องทดลองโดยอุปกรณ์ปัมน้ำยางคอมปาวด์

3.3.1 วิธีการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

ในการทดสอบการปัมน้ำยาง จะใช้น้ำยางและสารเคมีผสมกันตามสูตรในตารางที่ 3 การผสมน้ำยางและสารเคมี ควรมีการคนให้น้ำยางและสารเคมีผสมกันเสียก่อนที่จะทำการปัมน้ำยาง

ตารางที่ 3 สูตรน้ำยางที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนประกอบ	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักทดสอบ (กรัม)
60% น้ำยางข้น	100.00	166.67	1,166.69
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	0.20	2.00	14.00
10% โปแตสเซียมโอเลเอต	0.20	2.00	14.00
กำมะถัน 50%	2.00	4.00	28.00
50% ZDEC	1.00	2.00	14.00
50% ZMBT	0.25	0.50	3.50
50% Zinc Oxide	1.00	3.00	21.00
50% โลวีน็อก CPL	0.50	1.00	7.00
รวม	105.15	181.17	1,268.19

*เติมน้ำลงไปได้ TSC = 45%

3.3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบคลอโรฟอร์ม

การทดสอบระดับการวัลคาไนซ์บางส่วนของน้ำยาง โดยใช้วิธีทดสอบกับคลอโรฟอร์ม แสดงในรูปที่ 16 ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากเพราะทดสอบง่ายและรวดเร็ว วิธีการคือ ใช้น้ำยางผสมกับคลอโรฟอร์มในปริมาณที่เท่า ๆ กัน กวนจนเกิดการจับตัวเป็นก้อน แล้วนำมาเทียบเกรดก่อนยาง ดังนี้

เกรดที่ 1 ก้อนยางเหนียวเมื่อยืดออกเป็นใย

เกรดที่ 2 ก้อนยางติดกันน้อยยืดออกน้อยเมื่อดึง

เกรดที่ 3 ก้อนยางไม่เหนียว ขาดออกจากกันได้ง่าย

เกรดที่ 4 ก้อนยางเป็นผงร่วน

เกรดยางที่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้วมีคุณภาพดี คือ เกรดที่ 2 และเกรดที่ 3 เกรดยางตั้งแต่ 1-4 แสดงในรูปที่ 17



ก.

ข.

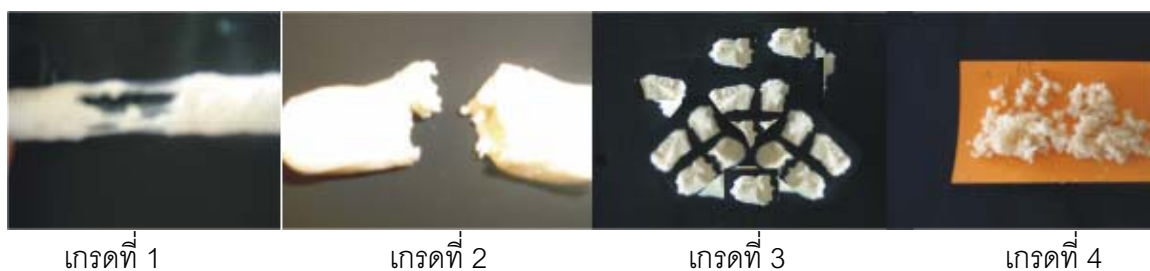


ค.

ง.

จ.

รูปที่ 16 วิธีทดสอบคลอโรฟอร์ม ก.การเตรียมน้ำยางและสารคลอโรฟอร์ม ข.เทสารคลอโรฟอร์มลงในน้ำยาง ค.กวนจนยางจับตัวเป็นก้อน ง.ทดสอบยืดยาง จ.หลังจากดึงยางทำให้ทราบเกรดยาง ในรูปเป็นเกรดที่ 1



รูปที่ 17 เกรดก้อนยางที่ทดสอบโดยคลอโรฟอร์ม

การทดสอบการบวมพองในโทลูอีน

การทดสอบการบวมพองในโทลูอีนได้ดัดแปลงมาจากการหาค่า Total Cross link density

การหาค่า Swelling Ratio

- ตัดตัวอย่างยางให้ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร
- นำยางที่ได้มาแช่ใน toluene เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง
- ทำการคำนวณหาค่า Swelling Ratio สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$Q = 1 + \left(\frac{W_s}{W_d} - 1 \right) \frac{P_p}{P_w}$$

เมื่อ Q คือ Swelling Ratio

Ws คือ Swelling weights of polymer

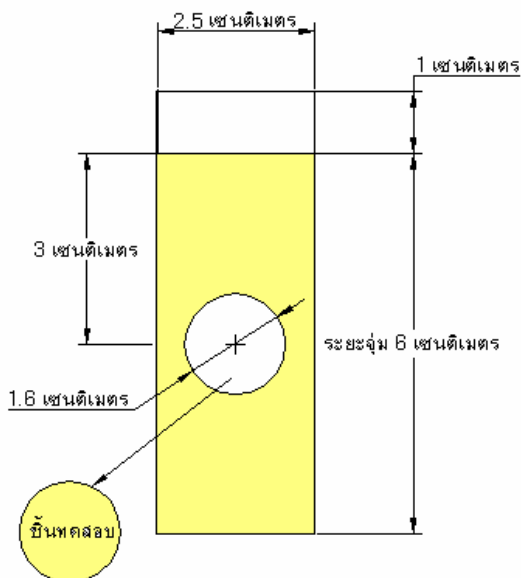
Wd คือ Dry weights of polymer

Pp คือ Density of polymer

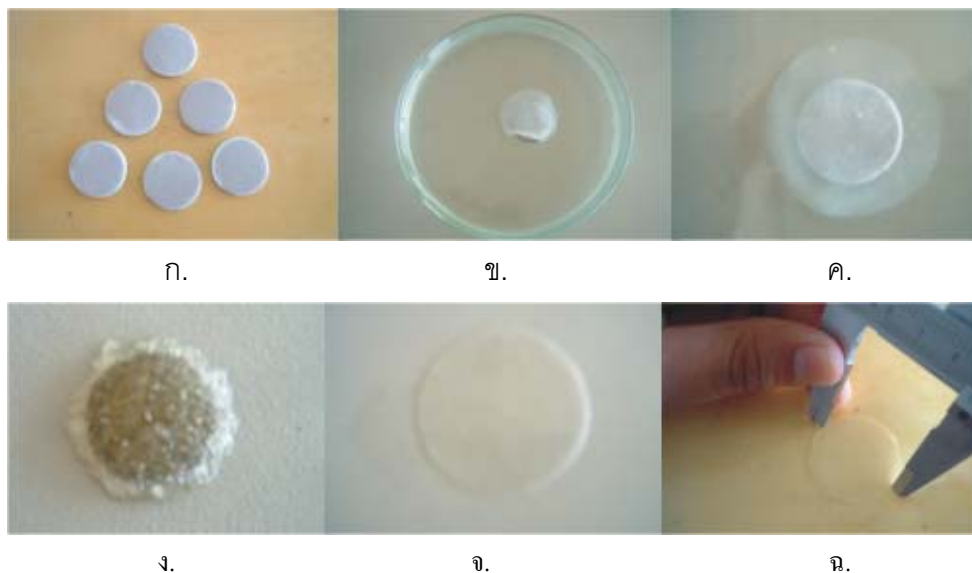
Pw คือ Density of toluene

การทดสอบการบวมในโทลูอีน (Toluene) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีวิธีการ คือ เตรียมชิ้นทดสอบ โดยนำกระดาษแข็งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.5 x 7 เซนติเมตร จุ่มลงในน้ำยางที่ทำการทดสอบให้ลึกประมาณ 6 เซนติเมตร เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง 1 ชั่วโมง ตัดชิ้นทดสอบให้เป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 18 ลอกแผ่นยางออกหนึ่งด้าน จะได้ชิ้นทดสอบเป็นแผ่นยางติดอยู่กับกระดาษแข็งรูปวงกลม วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง นำไปแช่ในโทลูอีนเป็นเวลา 1 นาที นำออกมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอีกครั้ง วิธีการทดลองแสดงในรูปที่ 19 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบก่อนและหลังแช่ในน้ำมัน โดยการบวมพองในโทลูอีนคำนวณได้จากสูตร

% การบวมพอง (%การเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง) = $100 \cdot (D - D_0) / D_0$
 โดยที่ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากแช่ในโหลอื่น
 D₀ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนแช่ในโหลอื่น



รูปที่ 18 การเตรียมชั้นทดสอบสำหรับแช่ในโหลอื่น

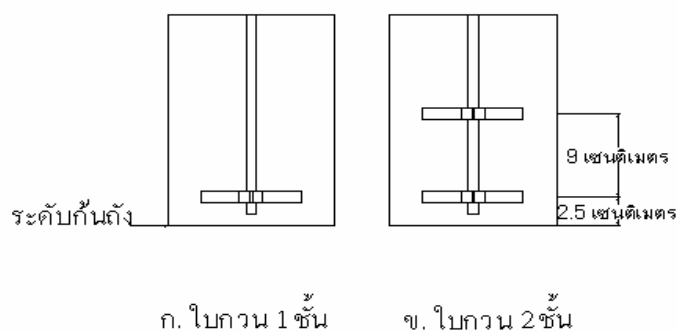


รูปที่ 19 การทดสอบการบวมพองในโหลอื่น ก. ชั้นทดสอบก่อนแช่ในโหลอื่น ข. และ ค. ชั้นทดสอบขณะแช่ในโหลอื่น ง. ชั้นทดสอบหลังแช่ในโหลอื่นเมื่อเกรดก่อนยางเป็นเกรดที่ 1 จ. ชั้นทดสอบหลังแช่ในโหลอื่นเมื่อเกรดก่อนยางเป็นเกรดที่ 2 เป็นต้นไป ฉ. การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชั้นทดสอบหลังแช่ในโหลอื่น

3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 การบ่มน้ำยางที่มีใบกวน 1 ชั้นกับ 2 ชั้น

1. ผสมน้ำยางและสารเคมีตามตารางที่ 3
2. ทำการบ่มน้ำยางโดยใช้ใบกวน 1 ชั้น รูปที่ 20 ก. ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วใบกวน 60 รอบต่อนาที
3. นำตัวอย่างน้ำยางมาทำการทดสอบการวัดค่าในชั้นบางส่วนของน้ำยางและสังเกตการเกิดฟิล์มที่ผิวน้ำยาง ทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ก้อนยางเกรดที่ 4
4. บันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนใบกวน 1 ชั้น เป็น 2 ชั้น ดังรูปที่ 20 ข.
6. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากใบกวน 1 ชั้น และ 2 ชั้น



รูปที่ 20 ระยะความสูงจากกันถังของใบกวน 1 ชั้น และ 2 ชั้น

การทดลองที่ 2 การบ่มน้ำยางที่มีความเร็วรอบในการกวนต่าง ๆ กัน

1. ผสมน้ำยางและสารเคมีตามตารางที่ 3 จำนวน 3 ถัง
2. ทำการบ่มน้ำยางโดยใช้ชนิดใบกวนที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยให้ความเร็วใบกวนแต่ละถังเป็น 0, 30 และ 60 รอบต่อนาที ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของถังทั้ง 3 ณ 30 องศาเซลเซียส
3. นำตัวอย่างน้ำยางมาทำการทดสอบการวัดค่าในชั้นบางส่วนของน้ำยางทุก ๆ 12 ชั่วโมง และทดสอบการตกตะกอนเมื่อครบ 3 วัน
4. บันทึกผลการทดลอง
5. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ถึงทั้ง 3