

การพัฒนาวัสดุทดแทนพีวีซีเหลวด้วยน้ำยางธรรมชาติในกระบวนการจุ่มโดยใช้แม่พิมพ์

Development Of Non-Pvc Materials Using Natural Rubber Latex

For Dip-Molding Process

สมหมาย ผิวสะอาด¹ วีราภรณ์ ผิวสะอาด² สุวรรณ หมีนสัน³ รัชณี แก้วทอง³ และ จินตนา ขวัญแก้ว³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุทดแทนพีวีซีเหลวด้วยน้ำยางธรรมชาติในกระบวนการจุ่มโดยใช้แม่พิมพ์ โดยทำการศึกษาค่าเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณสารตัวเติม 2 ชนิด คือแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ ในปริมาณอย่างละ 0, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 phr แล้วทำการศึกษาสมบัติเชิงกลสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางไฟฟ้า และผลของการขึ้นรูปต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าสารตัวเติมที่เหมาะสมคือ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเคลย์ 15 phr ให้ค่าสมบัติเชิงกลได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด 300 % Modulus ความทนทานต่อการฉีกขาดและความแข็ง คือ 20.12 MPa, 739.02 %, 2.2 MPa, 26.63 N/mm. และ 62.8 Shore A ตามลำดับ ให้ปริมาณความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง 0.28 mole/cm³ และให้ค่าสมบัติทางไฟฟ้าได้แก่ความต้านทานเชิงปริมาตร ความต้านทานเชิงพื้นผิว และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก คือ 3.24x10⁹ Ω/cm, 4.32 x 10⁹ Ω และ 3.10 ตามลำดับ จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยจุ่มที่เวลา 50 วินาที โดยทำการจุ่ม 4 ครั้ง อบที่อุณหภูมิ 90° C เป็นเวลา 30 นาที

คำสำคัญ : วัสดุทดแทนพีวีซี น้ำยางธรรมชาติ พีวีซีเหลว กระบวนการจุ่มโดยใช้แม่พิมพ์

Abstract

This object research aimed to develop the natural rubber latex materials to substitute the utilization of PVC materials in a dip-molding process. We studied the preparation of prevulcanized latex having 2 kinds of additives; calcium carbonate (CaCO₃) and clay. The amounts of additives were varied of 0, 5, 7.5, 10, 12.5 and 15 phr. The prevulcanized latex products were subjected to mechanical, electrical properties analysis as well as the dip-molding process ion product thickness. It was found that, the product contained 15 phr of

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

clay and 10 phr of calcium carbonate (CaCO_3) showed the results of tensile strength, elongation at 300% modulus, tear strength and hardness of 20.12 Mpa, 739.02%, 2.2 Mpa 26.63 N/mm and 62.8 shore A, respectively. The crosslink density of product was 0.28 mole/cm^3 and the volume resistivity, surface resistivity and dielectric constant were $3.24 \times 10^9 \Omega/\text{cm}$, $4.32 \times 10^9 \Omega$ and 3.10, respectively. The compound precalcanized latex was fabricated using dip-molding process with dipping time at 20, 30, 40, 50 and 60 seconds with repeating dipped of 1, 2, 3, 4 and 5 times. It was found that the dipping conditions of 4 times dipping of 50 seconds each dip and cured at 90°C for 30 min gave the product having thickness comparable with the PVC products.

Keywords : Non-PVC materials, Natural latex, PVC solution, Dip molding process

1. บทนำ

บริษัท นิซเซอิ เทคคิง (ไทยแลนด์) จำกัด มีการผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) โดยกระบวนการจุ่มโดยใช้แม่พิมพ์ (dip molding) เมื่อพีวีซีได้รับความร้อนจะสลายตัวทำให้เกิดกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) นอกจากนี้แล้วสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปในพีวีซีเหลว (PVC solution) จะมีความเป็นพิษ เช่น UV stabilizer ดังนั้นทางบริษัท นิซเซอิ เทคคิง (ไทยแลนด์) จำกัด มีความต้องการใช้วัสดุที่เป็น non-PVC จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุทดแทนพีวีซี

วัตถุดิบที่นำมาศึกษาวิจัยเพื่อทดแทนพีวีซีในกระบวนการจุ่มโดยใช้แม่พิมพ์ คือ น้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น (elasticity) ความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation) ทนทานต่อการหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) และมีอุณหภูมิการใช้งานที่กว้าง (service temperature) [1]

2. วิธีการทดลอง

การเตรียมวัสดุทดแทนพีวีซีที่ผลิตจากยางธรรมชาติ โดยทำการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์ก่อนขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ เหนียวและสมบัติทางไฟฟ้า เช่น การทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) การทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ความแข็ง (hardness) ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (cross-link density) ปริมาณโลหะหนัก ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (volume Resistivity) ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (surface resistivity) และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant)

2.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

แปรปริมาณสารตัวเติมได้แก่ ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต คือ 0, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 phr และเคลย์ 0, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 phr มีขั้นตอนดังต่อการเตรียมสารเคมีในรูปของดิสเพอร์ชัน (dispersion) และสารละลาย (solution) โดยชั่งน้ำยางและสารเคมีตามสูตร ผสมน้ำยางและสารเคมีในรูปของดิสเพอร์ชัน หรือสารละลาย ด้วยเครื่อง

ผสมโดยใช้ความเร็วรอบ 300 rpm ที่อุณหภูมิ 60 - 70°C แล้วนำน้ำยางคอมพาวด์ที่ได้มาทำการกรองเพื่อแยกสารเคมีที่เหลือออกจากปฏิกิริยาบ่มน้ำยางที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ 7 วัน

ตารางที่ 1 สูตรการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

สารเคมี	น้ำหนักเปียก (phr)										
	สูตรที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
น้ำยางธรรมชาติ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ไปเทกซ์โบลินไดออกไซด์	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
อิมัลชัน	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
กำมะถัน	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
ซิงค์ไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
วิธเค-เอส	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
แคลเซียมคาร์บอเนต	-	5	7.5	10	12.5	15	-	-	-	-	-
เคลย์	-	-	-	-	-	-	5	7.5	10	12.5	15
ซิงค์ออกไซด์	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

2.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นทดสอบ

ในการเตรียมแผ่นทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เตรียมได้จากการเทน้ำยางคอมพาวด์ลงในแม่พิมพ์ที่มีขนาด กว้าง 6 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร สำหรับขึ้นรูปแผ่นทดสอบ โดยอบแผ่นทดสอบที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำชิ้นทดสอบออกจากแม่พิมพ์ เพื่อทำการทดสอบ

2.3 ดำเนินการทดสอบสมบัติ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทดแทนพีวีซี จะต้องมีการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะนำไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ดังนี้

2.3.1 สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ASTM D 412 ความทนทานต่อการฉีกขาด ASTM D 624 ความแข็ง ASTM D 2240

2.2.3 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง และปริมาณโลหะหนัก

2.3.3 สมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ASTM D 257 ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ASTM D 257 และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ASTM D 150 [2]

2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

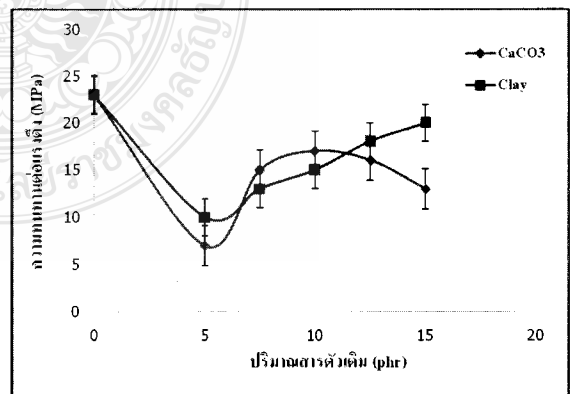
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากการเลือกสูตรที่ให้สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการจุ่ม ดังนี้

อบแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วนำมาจุ่มสารช่วยในการจับตัว (แคลเซียมไนเตรท 20 wt%) จุ่มน้ำยางคอมพาวด์ อบผลิตภัณฑ์ ทิ้งให้เย็นและถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตกแต่งผลิตภัณฑ์

3 ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

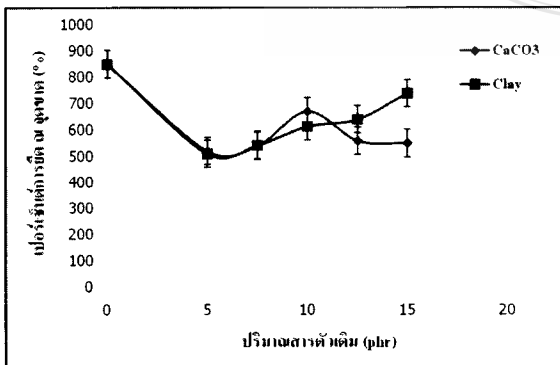
3.1.1 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง



รูปที่ 1 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ต่อความทนทานต่อแรงดึง

จากรูปที่ 1 พบว่าความทนทานต่อแรงดึงของยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ พบว่า ยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นถึง 10 phr และจะลดลงเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 10 phr เนื่องจากถ้าเติมแคลเซียมคาร์บอเนตมากเกินไปจะทำให้ปริมาตรของยางลดน้อยลงจนไม่สามารถยึดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตไว้ได้ [2] ส่วนยางที่เติมเคลย์จะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณเคลย์ที่เพิ่มขึ้นแต่ต่ำกว่ายางที่ไม่มีการเติมเคลย์ เนื่องจากเคลย์เป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจึงส่งผลให้เคลย์สามารถแทรกเข้าไปในแมทริกซ์ของยางธรรมชาติได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น [3] และยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติม มีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ เนื่องจากยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติม โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงสามารถดกผลึกได้เมื่อถูกดึงยึดทำให้มีความทนทานต่อแรงดึงสูง

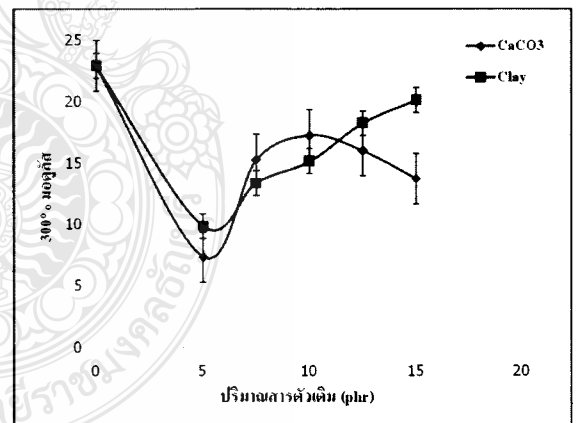
3.1.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบการยึดตัว ณ จุดขาด



รูปที่ 2 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ต่อการยึดตัว ณ จุดขาด

จากรูปที่ 2 พบว่ายางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ค่าความทนทานต่อการยึดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นถึง 10 phr และจะลดลงเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 10 phr เนื่องจากเมื่ออนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแทรกกระหว่างโมเลกุลของยาง โอกาสที่สายโซ่จะเกิดการเกี่ยวพันกันขณะทำการดึงยึดจึงลดลงทำให้การทนทานต่อการยึดตัว ณ จุดขาดลดลงตามไปด้วย [4] ส่วนยางที่เติมเคลย์จะให้ค่าความทนทานต่อการยึดตัว ณ จุดขาด เพิ่มขึ้นตามปริมาณเคลย์ที่เพิ่มขึ้น และยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมมีค่าการการยึดตัว ณ จุดขาดสูงกว่ายางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์

3.1.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบ 300 % modulus

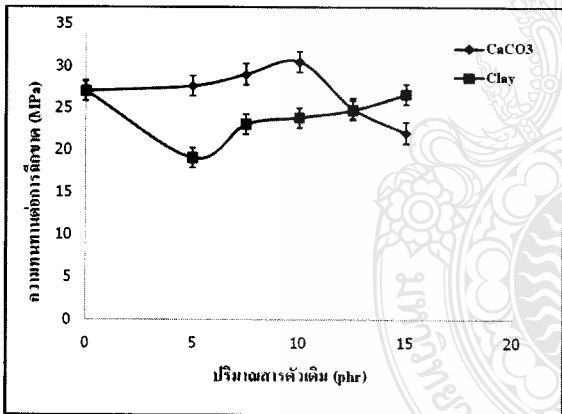


รูปที่ 3 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ต่อ 300 % modulus

จากรูปที่ 3 พบว่าค่า 300% modulus ของยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ พบว่า ยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ค่า 300% modulus ลดลงตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นถึง 10 phr และจะเพิ่มขึ้นเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า

10 phr เนื่องจากเมื่ออนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแทรกกระหว่างโมเลกุลของยาง โอกาสที่สายโซ่จะเกิดการเกี่ยวพันกันขณะทำการดึงยืดจึงลดลง จึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยางเกิดการยืดตัวได้น้อยลงค่า 300% modulus จึงเพิ่มขึ้น [5] ส่วนยางที่เติมเคลย์จะให้ค่า 300% modulus ลดลงตามปริมาณเคลย์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อปริมาณของเคลย์เพิ่มขึ้นยางจะเกิดการยืดตัวได้มากขึ้นและยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมมีค่า 300% modulus ต่ำกว่ายางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ เนื่องจากยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมมีความยืดหยุ่นมากกว่า

3.1.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด

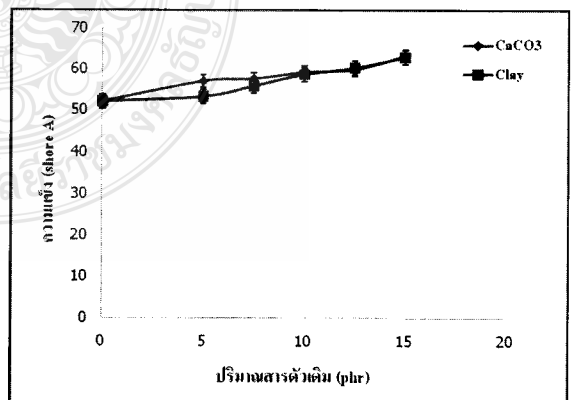


รูปที่ 4 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ต่อความทนทานต่อการฉีกขาด

จากรูปที่ 4 พบว่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์พบว่า ยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นถึง 10 phr และจะลดลงเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 10 phr เนื่องจากถ้าเติม

แคลเซียมคาร์บอเนตมากเกินไปจะทำให้ปริมาตรของยางลดน้อยลงจนไม่สามารถยึดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตไว้ได้ทำให้ความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง ส่วนยางที่เติมเคลย์จะให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเคลย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเคลย์เป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจึงส่งผลให้เคลย์สามารถแทรกเข้าไปในแมทริกซ์ของยางธรรมชาติได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ความทนทานต่อการฉีกขาดจึงเพิ่มสูงขึ้นและยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ เนื่องจากยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารตัวเติมโครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูง สามารถตกลึกได้เมื่อถูกดึงยืดทำให้มีความทนทานต่อการฉีกขาดที่สูง เมื่อเติมสารตัวเติมประเภท เคลย์ซึ่งเป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงทำให้มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง

3.1.5 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความแข็ง

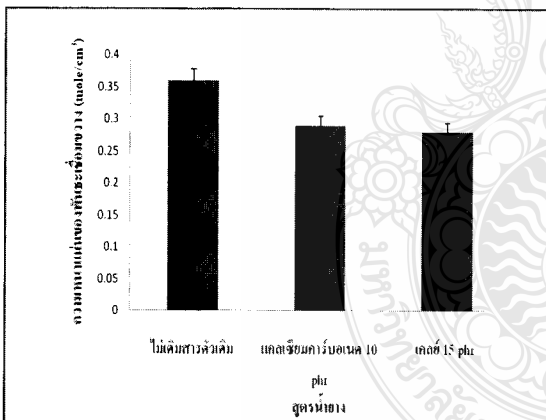


รูปที่ 5 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ต่อความแข็ง

จากรูปที่ 5 พบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมสามารถเข้าไปแทรกกระหว่างอนุภาคของยางทำให้ยางมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่บริเวณพื้นผิวสูงขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติม [6] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ พบว่าค่าความแข็งที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสารตัวเติมทั้งสองเป็นสารตัวเติมประเภทลดต้นทุนหรือเสริมแรงได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จึงทำให้ค่าความแข็งของยางใกล้เคียงกัน

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางของน้ำยางคอมพาวด์



รูปที่ 6 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเคลย์ 15 phr ต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง

จากรูปที่ 6 พบว่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางในน้ำยางจะลดลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมประเภทแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ลงไป เนื่องจากสารตัวเติมเหล่านี้มีผลทำให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาการคงรูป จึงพบว่าความหนาแน่นของ

พันธะเชื่อมขวางในน้ำยางลดลง จากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเคลย์ 15 phr ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางในน้ำยางมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในน้ำยางคอมพาวด์

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในน้ำยางที่ไม่เติมสารตัวเติม เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเติมเคลย์ 15 phr

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณของโลหะหนัก %(w/w)		
	ไม่เติมสารตัวเติม	แคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr	เคลย์ 15 phr
ตะกั่ว (Pb)	0.00208	ND.	ND.
แคดเมียม (Cd)	0.00000864	ND.	ND.
ปรอท (Hg)	0.000198	0.000237	0.000195

ND. = non detection

จากตารางที่ 2 พบว่าปริมาณโลหะหนักที่พบในน้ำยางคอมพาวด์ในปริมาณที่น้อยมากจนเครื่องไม่สามารถตรวจจับได้ จะเห็นได้ว่าน้ำยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเติมเคลย์ 15 phr จะพบแต่ปรอทในปริมาณที่น้อยมาก

4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า

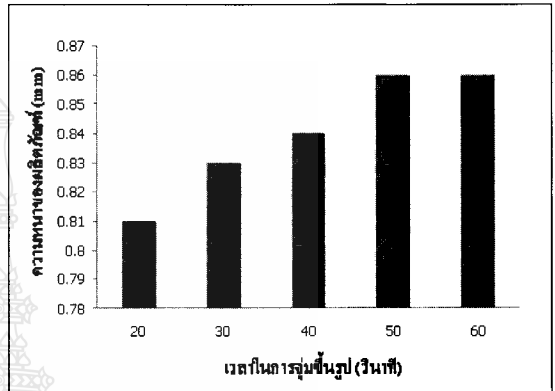
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำยางที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเคลย์ 15 phr

สมบัติ	สูตรน้ำยาง		
	ไม่เติมสารตัวเติม	แคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr	เคลย์ 15 phr
ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume resistivity) (Ω/m)	2.8×10^9	0.13×10^9	3.24×10^9
ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (Surface Resistivity) (Ω)	0.71×10^9	0.63×10^9	4.32×10^9
ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant)	3.35	3.91	3.1

จากตารางที่ 3 พบว่ายางที่เติมเคลย์เป็นสารตัวเติมให้ค่าต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรและค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว มากกว่ายางที่ไม่เติมสารตัวเติมและยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมที่สามารถดูดซับน้ำได้โดยน้ำเป็นสื่อในการนำไฟฟ้าจึงทำให้ความต้านทานเชิงปริมาตรและความต้านทานเชิงพื้นผิวลดต่ำลง ดังนั้นยางที่เติมเคลย์เป็นสารตัวเติมจึงมีความเป็นฉนวนมากที่สุด ส่วนค่าคงที่ไดอิเล็กทริกก็ต่ำกว่ายางที่ไม่เติมสารตัวเติมและยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากอิเล็กตรอนโพลาริเซชันสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็ว มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (power loss) น้อย จึงส่งผลให้ยางที่เติมเคลย์เป็นสารตัวเติมมีความเป็นฉนวนมากที่สุด [7]

4.4 ผลของการขึ้นรูปต่อความหนาของผลิตภัณฑ์

จากผลของความหนาของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาในการจุ่มขึ้นรูปของน้ำยางที่เติมเคลย์ 15 phr

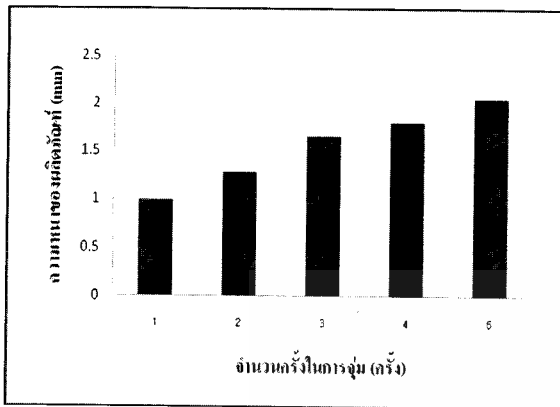


รูปที่ 7 ผลของความหนาของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาในการจุ่มขึ้นรูป

สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้

จากรูปที่ 7 ผลของความหนาของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาในการจุ่มขึ้นรูป โดยทำการจุ่มขึ้นรูปที่เวลา 20, 30, 40, 50 และ 60 วินาที พบว่าที่เวลา 50 วินาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการจุ่มขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่มขึ้นรูปก็ไม่มีผลต่อความหนาของผลิตภัณฑ์เพราะใช้เวลา 60 วินาทีความหนาของผลิตภัณฑ์จะลดลง ซึ่งเกิดจากการสิ้นสุดของปฏิกิริยาการสูญเสียความเสถียร

จากผลของความหนาของผลิตภัณฑ์ต่อจำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูปของน้ำยางที่เติมเคลย์ 15 phr สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 8 ผลของความหนาของผลิตภัณฑ์
ต่อจำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูป

จากรูปที่ 8 ผลของความหนาของผลิตภัณฑ์ต่อจำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูป โดยทำการจุ่มขึ้นรูปจำนวน 1, 2, 3, 4, และ 5 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งทำการจุ่มขึ้นรูปที่เวลา 50 วินาที พบว่า จำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 ครั้ง ให้ความหนา 1.81 มิลลิเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากพีวีซีมากที่สุด โดยความหนาของผลิตภัณฑ์จากพีวีซีอยู่ที่ 1.80 มิลลิเมตร

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 จากการศึกษสมบัติเชิงกลของน้ำยางคอมพาวด์ที่แปรผันปริมาณของสารตัวเติมคือแคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ พบว่าที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และเคลย์ 15 phr ให้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุด

4.2 จากการศึกษสมบัติทางกายภาพ คือ ปริมาณความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางและปริมาณโลหะหนักในน้ำยางคอมพาวด์ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และ เคลย์ 15 phr พบว่า น้ำยางทั้งสองสูตรมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางแตกต่างกันเล็กน้อย และปริมาณโลหะหนักในน้ำยางคอมพาวด์ที่เติมเคลย์มีปริมาณน้อยที่สุด

4.3 จากการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า คือ ความต้านทานเชิงปริมาตร ความต้านทานเชิงพื้นผิว และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เพื่อวัดค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าของน้ำยางคอมพาวด์ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 phr และ เคลย์ 15 phr พบว่าน้ำยางที่เติมเคลย์เป็นสารตัวเติมมีความเป็นฉนวนมากที่สุด

4.4 จากการศึกษเวลาและจำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูปต่อความหนาของผลิตภัณฑ์ พบว่า เวลาในการจุ่มขึ้นรูปที่เหมาะสม คือ 50 วินาที และจำนวนครั้งในการจุ่มขึ้นรูปที่ให้ความหนาใกล้เคียงกับพีวีซีมากที่สุดคือ 4 ครั้ง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในด้านข้อมูลเกี่ยวกับการทำปริญญาโท วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจากบุคคลและหน่วยงานดังต่อไปนี้

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ผิวสอาด อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาโท โดยตลอด ทำให้ปริญญาโทนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อาจารย์และบุคลากรประจำภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความสะดวกในการปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

บริษัท นิซเซอิ เทคดิง (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

โครงการให้ทุนสนับสนุนโครงการอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS) ปี 2551

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ธร แซ่ฮูย, 2547. **ยาง ชนิด สมบัติ และ การใช้งาน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [2] พงษ์ธร แซ่ฮูย, 2550. **ยาง กระบวนการผลิต และการทดสอบ**. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [3] พรพรรณ นิธิอุทัย, 2535. **เทคนิคการออกสูตร ยาง**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [4] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2545. **คู่มือเทคโนโลยียาง**. ม.ป.ท.
- [5] นิลุบล เพื่อกบัวขาว, 2550. “สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง”. สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- [6] พงษ์ธร แซ่ฮูย, 2550. **สารเคมียาง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [7] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. ม.ป.ป. สมบัติของพอลิเมอร์. ม.ป.ท. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.