



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (ชนิดสีขาว) ต่อสมบัติทางกายภาพและความทนทานต่อการฉีกขาด โดยใช้ Zinc ammine complex ที่ควบคุมความหนา 1.5-2.0 มิลลิเมตร

Effect of filler (white type) on physical properties and tear resistance by zinc amine complex system with controlling thickness at 1.5-2.0 mm

โดย ผศ. ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย และคณะ

พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม (ชนิดสีขาว) ต่อสมบัติทางกายภาพและความทนทาน
ต่อการฉีกขาด โดยใช้ Zinc amine complex ที่ควบคุมความหนา 1.5-2.0 มิลลิเมตร

Effect of filler (white type) on physical properties and tear resistance by zinc amine complex
system with controlling thickness at 1.5-2.0 mm

คณะผู้วิจัย

ผศ. ดร. อรสา ภัทรไพฑูรย์ชัย

นางสาว วนิดา คงเดช

สังกัด

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ-มอ.(7)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นผลของการใช้สารตัวเติมสีขาวต่อความทนทานต่อการฉีกขาดเป็นหลัก นอกเหนือจากสมบัติในเรื่องของความแข็งแรง เพราะผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดทนต่อแรงฉีกขาดได้ไม่เท่ากัน ดังเช่นร่องเท้าบูทก็เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องการสมบัติด้านความทนทานต่อการฉีกขาดโดยเฉพาะในขั้นตอนของกระบวนการผลิตจำเป็นต้องแกะออกจากเบ้าขณะร้อน อีกทั้งการสวมใส่ต้องมีการดึงออกและเข้า ในที่นี้จะทำการผสมสารเคมีลงไปให้น้ำยางโดยจะแปรผันตามปริมาณของสารตัวเติมสีขาวแต่ละชนิดได้แก่ ซิลิกา, ดินขาว และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยจะใช้ Zinc amine complex เป็นสารไวความร้อน ทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารไวความร้อน จากนั้นมาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เช่น ความทนทานต่อการฉีกขาด, ความแข็งแรงในการดึง และ ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ทั้งก่อนบ่มและหลังบ่ม นอกจากนั้นทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีต่อความหนาจากการจุ่มในระบบใช้สารไวความร้อน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความเป็นกรด - ด่าง ของซิงค์ออกไซด์ มีผลต่อขั้นตอนในการเตรียม น้ำยางคอมเพานด์ นอกจากนั้นความหนาของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจุ่ม, อุณหภูมิ น้ำยางคอมเพาวด์, อุณหภูมิแบบจุ่ม, ปริมาณเกลือแอมโมเนีย, ปริมาณซิงค์ออกไซด์, ความเข้มข้น ชนิด และ ปริมาณสารตัวเติม โดยความหนาที่เกิน 1.5 มิลลิเมตร จะต้องใช้ NH_4Cl 9.33 phr ร่วมกับ ZnO 13 phr และอุณหภูมิแบบจุ่มอย่างต่ำควรเป็น 80 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิแบบจุ่มต่ำกว่านี้ ควรใช้ ZnO ในปริมาณสูงถึง 15 phr และสารตัวเติมที่ให้ความหนามากที่สุด ก็คือ 50% CaCO_3 ในปริมาณ 30 phr เมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีขาวชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่าสารตัวเติมที่ให้สมบัติด้าน 300% modulus, hardness, % elongation at break และ tear resistance สูงที่สุดคือ 15% Silica ในปริมาณ 30 phr

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย : RDG4950022

ชื่อโครงการวิจัย : ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม(ชนิดสีขาว)ต่อสมบัติทางกายภาพและทางด้านการทนทานต่อการขีด โดยระบบที่ใช้ Zinc amine complex และควบคุมความหนา 1.5-2.0 มิลลิเมตร

นักวิจัย : ผศ. ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัยและคณะ (สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่) อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

E-mail Address: Orasa.p@psu.ac.th

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย : 1 พฤศจิกายน 2548 – 30 เมษายน 2549

ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 1.5 - 2.0 มิลลิเมตร โดยใช้ระบบ, ซิงค์แอมมีนคอมเพลก (Zinc amine complex ($\text{ZnO} : \text{NH}_4\text{Cl}$)) ความเป็นกรด - ด่าง ของซิงค์ออกไซด์ มีผลต่อขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางคอมเพาวด์ จากการศึกษพบว่า pH ของ ZnO ควรประมาณ 10.05 นอกจากนี้พบว่าเมื่อใช้แบบจุ่มเซรามิกส์จะให้ความหนามากกว่าแบบจุ่มแก้ว และความหนาของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจุ่ม, อุณหภูมิน้ำยางคอมเพาวด์, อุณหภูมิแบบจุ่ม, ปริมาณเกลือแอมโมเนีย, ปริมาณซิงค์ออกไซด์,ความเข้มข้น ชนิด และปริมาณสารตัวเติม โดยความหนาที่เกิน 1.5 มิลลิเมตร จะต้องใช้ NH_4Cl 9.33 phr ร่วมกับ ZnO 13 phr และอุณหภูมิแบบจุ่มอย่างต่ำควรเป็น 80 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิแบบจุ่มต่ำกว่านี้ ควรใช้ ZnO ในปริมาณสูงถึง 15 phr และสารตัวเติมที่ให้ความหนามากที่สุด ก็คือ 50% CaCO_3 ในปริมาณ 30 phr เมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีขาวชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่าสารตัวเติม ที่ให้สมบัติด้าน 300%modulus, Hardness, % Elongation at break และ Tear resistance สูงที่สุดคือ 15%Silica ในปริมาณ 30 phr

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ, ระบบซิงค์แอมมีนคอมเพลก, สารตัวเติมสีขาว, ขบวนการจุ่ม, สมบัติทางกายภาพ

Abstract

Project Code : RDG4950022

Title Effect of filler (white type) on physical properties and tear resistance by zinc amine complex system and control thickness at 1.5-2.0 mm

Investigator: Assist. Prof. Dr. Orasa Patarapaiboolchai, et al. (polymer science program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hadyai Campus, Songkhla 90112

E-mail Address: Orasa.p@psu.ac.th

Project Period: November 1, 2005 – April 30, 2006

The acid – base of zinc oxide has effect on the latex compound preparation for a product with thickness at 1.5 -2.0 mm. which using a zinc amine complex system ($\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$). The acid – base of zinc oxide should be approximately 10.05. In addition, it is found that ceramic former give higher thickness than glass former and the film thickness is increased with dipping time, temperature of latex compound, temperature of former, a amount of ammonium salt, a amount of zinc oxide, also concentration type and a amount of filler. To obtain thickness more than 1.5 mm. NH_4Cl 9.33 phr and ZnO 13 phr are used in the system while former temperature should be at least 80°C during dipping in the latex compound. If the former temperature used is less than 80°C , it is necessary to spend a higher amount of ZnO for example 15 phr. 50% CaCO_3 in the amount of 30 phr provide highest thickness comparable to other white fillers. Finally, 15% Silica in the amount of 10 phr shows higher properties in 300% modulus properties, hardness, % elongation at break and tear resistance than other white fillers.

Keyword: latex, zinc amine complex system, white filler, dipping, physical properties

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
เนื้อหา	
1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
2 วัตถุประสงค์	1
3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
4.1. ทดสอบสมบัติน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง	3
4.2. การเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ แบบใช้สารไวต่อความร้อน (Heat sensitive compound)	3
4.3 ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมเพานด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน	5
5 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	6
5.1 ศึกษาการเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจุ่มแบบ พิมพ์แบบไวต่อ ความร้อน	6
5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา	7
5.2.1 ผลของระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของน้ำยางคอมเพานด์ แบบใช้สารไวต่อความร้อน	7
5.2.2 ผลของอุณหภูมิในการจุ่มต่อความหนาของยาง	7
5.2.3 ผลของชนิดแบบจุ่มต่อความหนาของยาง	8
5.2.4 ผลของเวลาจุ่มและอุณหภูมิน้ำยางคอมเพานด์ต่อความหนาของยาง	9
5.2.5 ผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อความหนืดของน้ำยางและความหนา ของน้ำยาง	10
5.2.6 ผลของปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อความหนืดของน้ำยาง และความหนาของน้ำยาง	11
5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสีสมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการขีดข่วนของยาง	14

5.3.1 ผลของอุณหภูมิในการอบเพื่อให้ยางคงรูปต่อสีของยาง	14
5.3.2 ผลของเวลาในการอบให้ยางสุก (cure time) ต่อความต้านทานแรงดึงที่อุณหภูมิในการอบต่างๆ	15
5.3.3 ผลของสมบัติยางวัลคาไนซ์ของฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม	16
5.3.3.1 ผล tensile strength ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม	15
5.3.3.2 ผลของ ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO	17
5.3.3.3 ผลของค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO	17
5.3.3.4 ผลของค่า Hardness ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO	18
5.3.3.5 ผลของค่า Tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO	18
5.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติม (สีขาว) ที่เติมลงไปให้น้ำยางว่ามีผลอย่างไรต่อสมบัติ ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารตัวเติม	19
5.4.1 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อความหนาของยาง	19
5.4.2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์	21
5.4.2.1 ผลความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง	21
5.4.2.2 ผลของค่าความเค้นที่ส่วนยืดกำหนด (300% modulus) แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง	21
5.4.2.3 ผลระยะยืด ณ จุดขาด (% elongation at break) ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง	23
5.4.2.4 ผลของความแข็งของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง	23
5.4.2.5 ผลของค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง	24
6 สรุปผลการทดลอง	27
7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	27
8 เอกสารอ้างอิง	27

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัย ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ นางสาว วนิดา คงเดช ที่ตั้งใจทำงาน และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย

9 มีนาคม 2550

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์ต่อสมบัติของน้ำยางคอมเพานด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน	4
2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา สี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง	4
2.3 สูตรน้ำยางคอมเพานด์พื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยเมื่อมีสารตัวเติม	4
2.4 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้ในการวิจัย	6
2.5 ผลของค่า pH ของ ZnO ต่อขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางและปริมาณในการใช้	6
2.6 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางต่อระดับการวัลคาไนซ์และความหนืด ของน้ำยางคอมเพานด์	8
2.7 ความหนาของยางและความหนืดเมื่อแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์ กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	11
2.8 ความหนาของยางและความหนืด เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ กำหนด ZnO เท่ากับ 15 phr	12
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง (มม.) เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที	13
2.10 ความหนาของยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	20
2.11 ค่า tensile strength แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งก่อนและ หลังการบ่มแรง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	21
2.12 ค่า 300% modulus แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งก่อน และหลังการบ่มแรง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	22
2.13 ค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งและหลังการบ่มแรง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	24
2.14 ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ก่อนการบ่มแรง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	25
2.15 ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ก่อนการบ่มแรง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	26

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	9
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการจุ่มและชนิดแบบจุ่มต่อความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	9
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาจุ่มและอุณหภูมิของน้ำยางต่อความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	10
2.4	ความหนาของยางและความหนืดเมื่อแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	11
2.5	ความหนาของยางและความหนืด เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ กำหนด ZnO เท่ากับ 15 phr	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง(มม.) เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที	14
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบต่อสีของยางที่กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	14
2.8	ผลระยะเวลาในการอบต่อความต้านทานต่อแรงดึงที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	15
2.9	ค่า tensile strength ของแผ่นฟิล์มทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง ต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	16
2.10	ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	17
2.11	ค่า% elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	18
2.12	ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr	18
2.13	ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr	18
2.14	ความหนาของยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	20

2.15	ค่า Tensile strength แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งก่อนและหลัง การบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	22
2.16	ค่า 300% modulus แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	23
2.17	ค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ทั้งก่อนและ หลังการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	24
2.18	ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ก่อนการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	25
2.19	ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม ก่อนการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr	26

1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นไม้หรือน้ำยาง โดยผลิตภัณฑ์น้ำยางเริ่มมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของโลกอย่างจริงจัง เมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว ในปี พ.ศ. 2503 มีการใช้ผลิตภัณฑ์ยางประมาณ 8% ของการใช้ประโยชน์ จากนั้นมีการใช้ผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มขึ้นเป็น 11% ในปี พ.ศ. 2533 และมีการใช้ประโยชน์ประมาณ 12% ในปี พ.ศ. 2542 แม้จะดูเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ก็ถือเป็นสัญญาณการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมั่นคง (Directory of Thai Rubber Industry 2001) โดยที่ผลิตภัณฑ์น้ำยางที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์โลกได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่ม 66.8% , กาว 12.1% , ยางยืด 9.1% , ฟองน้ำ 6.9% , และพรม 5.1% ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง

โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มนี้จะทำให้ได้ฟิล์มยางที่เรียบสม่ำเสมอ สามารถได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งแบบหนาและแบบบาง สำหรับวิธีการจุ่มที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หนามากๆนิยมใช้การจุ่มที่มีสารไวต่อความร้อน (Heat sensitive dipping) เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่รวดเร็วกว่าการใช้สารช่วยจับตัว (Coagulant) และสามารถทำผลิตภัณฑ์ได้ภายในขั้นตอนเดียวก็จะทำให้ได้ผิวที่มีลักษณะค่อนข้างหนา ซึ่งจากการใช้วิธีนี้จำเป็นต้องมีสารเคมีที่ทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวเมื่อถูกความร้อน (Heat sensitizing agent) เช่น Polyvinyl methyl ether (PVME), Polypropylene glycol (PPG) และเกลือแอมโมเนียมร่วมกับซิงค์ออกไซด์ (zinc amine complex) โดยที่สารแต่ละตัวนี้มีประสิทธิภาพแตกต่างกันและพบว่า PVME มีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีการศึกษาวิจัยในสารนี้กันมากพอสมควร ขณะที่ข้อมูลเกี่ยวกับระบบ zinc amine complex ยังไม่แพร่หลายมากนัก (Gorton and Pendle, 1980) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้เกลือแอมโมเนียมร่วมกับซิงค์ออกไซด์ เป็นสารที่ทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวเมื่อสัมผัสความร้อน ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่ใช้กันในสมัยก่อนแต่ปัจจุบันไม่นิยมนำมาใช้เนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้ไม่ค่อยดีนัก ประกอบกับสารที่ใช้ในระบบนี้เป็นสารที่หาได้ง่ายกว่า PVME จึงได้วิจัยเพื่อพัฒนาระบบนี้ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ PVME โดยทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาวโดยที่งานวิจัยนี้เลือกศึกษา Calcium carbonate (CaCO_3), China clay และ Silica ซึ่งสารตัวเติมทั้งสองชนิดคือ Calcium carbonate (CaCO_3) และ China clay เป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางเนื่องจากมีราคาถูกที่สุด นอกจากนี้ได้ศึกษาผลต่อสมบัติทางกายภาพและความทนทานต่อการฉีกขาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้ระบบ zinc amine complex นี้

2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีผลต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์ และปัจจัยที่มีผลต่อความหนา สี โดยกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากการจุ่มที่มีความหนาระหว่าง 1.5-2.0 mm โดยใช้ระบบ zinc amine complex

3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย

3.1.1 ศึกษาและทำการทดลองการจุ่มโดยใช้แบบพิมพ์ร้อน (Heat sensitive dipping) ใช้ระบบ zinc amine

3.1.2 ศึกษาการเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์แบบไวต่อ ความร้อนโดยเป็นการใช้กระบวนการที่ง่าย ๆ และวัสดุที่ใช้ราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย

3.1.3 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณ ZnO และ NH_4Cl ที่เติมลงไปในน้ำยางคอมเพานด์

3.1.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา สี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของ ยาง โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของยางมีดังนี้ คือ

3.1.4.1 ศึกษาระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของน้ำยางแบบใช้สารไวความร้อน

3.1.4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิแบบจุ่ม

3.1.4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำยางและเวลาการจุ่ม

3.1.4.4 ชนิดของแบบจุ่ม

3.1.4.5 อิทธิพลของปริมาณ ZnO

3.1.4.6 อิทธิพลของปริมาณ NH_4Cl

3.1.5 ศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติม (สีขาว) ที่เติมลงไปในน้ำยางว่ามีผลอย่างไรต่อสมบัติ ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารตัวเติม

3.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Gorton and Pendle (1980) มีการพัฒนาระบบการสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งได้เสนอการเปรียบเทียบระหว่างระบบการสูญเสียความร้อนแบบปกติกับระบบใหม่ที่ใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิดไม่มีประจุเป็นสารไวความร้อน และแนะนำการนำระบบน้ำยางแบบใหม่ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป โดยทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนเช่น เวลาในการจุ่ม อุณหภูมิการจุ่มและความหนืดของน้ำยางผสมสารเคมีที่มีการเติมสารวัลคาไนซ์ ซึ่งพบว่า การมีซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ในน้ำยางผสมสารเคมีทำให้เกิดความว่องไวต่อความร้อนมากยิ่งขึ้น และศึกษาชนิดของสารไวต่อความร้อน คือ Ammonium acetate, Polypropylene glycol และ Polyvinyl methyl ether พบว่าการผสมสารไวต่อความร้อนกับน้ำยางธรรมชาติโดยการเลือกใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิดไม่มีประจุที่เลือกใช้คือ Alkyl phenol-Ethylene oxide adducts และ Fatty alcohol-Ethylene oxide adducts ที่มีอุณหภูมิที่สารตกตะกอนจากตัวทำละลายที่เป็นน้ำ (cloud point) ในช่วง $45-60^{\circ}C$ ประสิทธิภาพของสารเพิ่มความ

เสถียรขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งบ่งถึงความสามารถในการดูดซับของอนุภาคของยางธรรมชาติซึ่งสามารถเลือกตัวที่มีความเสถียรในการเก็บที่ดีได้

จุฑารัตน์(2545) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรและความหนาของน้ำยางคอมเพานด์โดยการจุ่มในระบบสูญเสียน้ำความเสถียรด้วยความร้อนเพื่อใช้ในการผลิตสายสวนปัสสาวะ พบว่าความหนาของยางเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่า pH ของน้ำยางคอมเพานด์ ลดปริมาณสารเพิ่มความเสถียร เพิ่มเวลาและอุณหภูมิของแบบจุ่ม เพิ่มปริมาณสารไวต่อความร้อน เพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ และเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำยางคอมเพานด์ นอกจากนี้พบว่าการใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิดไม่มีประจุในกลุ่ม Ethoxylate tridecyl alcohol (RODASURE-BC-840) สามารถรักษาความเสถียรของน้ำยางได้ดีกว่า Alkoxyethyl gatty alcohol (Atlas G-5774) และ Nonylphenol ethoxylate(Berol 09) ตามลำดับขั้นตอนการผลิตสายสวนปัสสาวะกระทำโดยการนำเข้าพิมพ์เข้าอบให้ความร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 100°C แล้วทำการจุ่มลงในน้ำยางคอมเพานด์แบบไวต่อความร้อนโดยใช้ความเร็วในการจุ่มประมาณ 360cm/min และเวลาในการจุ่ม 3 วินาที ทำให้ง่ายมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร และวัดคาไนซ์ ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

บุญธรรมและคณะ(2532) จากรายงานเรื่องการวัดคาไนซ์ของน้ำยางที่ใช้กัมมันต์เป็นตัวเชื่อมเพื่อทำสายน้ำเกลือ ได้ศึกษาการทำงานของ Heat Sensitive Compound โดยวิธีการจุ่มโดยใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ และใช้ PVME เป็นสารไวความร้อน ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวลดระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ใช้สารรักษาความเสถียรชนิดไม่มีประจุ คือ Vulcastab LW จากผลการทดลองพบว่าน้ำยางคอมเพานด์ แสดงความเป็นน้ำยางแบบไวความร้อนอย่างชัดเจนเมื่อ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ น้อยกว่า 9.0 การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาของการจุ่มทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้นส่วนการเพิ่มซิงค์ออกไซด์ในน้ำยางคอมเพานด์ มีผลต่อความหนาเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้ง่ายมีสีขุ่นตามปริมาณที่เติม ส่วนปริมาณของแข็งในสูตรยางควรไม่ต่ำกว่า 50% เพราะจะเกิดปัญหาการลื่น

พรพรรณและรุ่งทิพย์(2535) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติทั้งก่อนและหลังวัดคาไนซ์ โดยแปรปริมาณสารตัวเติมตั้งแต่ 0 , 30 , 60 และ 100 phr พบว่าค่า plasticity , Mooney viscosity และ Torque ของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มโดยที่แคลเซียมคาร์บอเนตที่เคลือบผิวจะให้ค่าสูงกว่าเมื่อไม่เคลือบผิว

4 วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. ทดสอบสมบัติน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง

4.2. การเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ แบบใช้สารไวต่อความร้อน (Heat sensitive compound)

โดยทำตามสูตรดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์ต่อสมบัติของน้ำยางคอมเพานด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

สารเคมี	สูตร(เนื้อยางแห้ง)
60%Latex(HA)	100
15%Teric	0.5
50%Wingstay-L	1
50%ZDEC	1
50%Sulphur	2
50%ZnO	1

ตารางที่ 2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา สี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง

สารเคมี	สูตร(เนื้อยางแห้ง)
60%Latex(HA)	100
15%Teric	0.5
50%Wingstay-L	1
50%ZDEC	1
50%Sulphur	2
50%ZnO	15
20%NH ₄ Cl	9.33

ตารางที่ 2.3 สูตรน้ำยางคอมเพานด์พื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยเมื่อมีสารตัวเติม

composite	Dry Weight (phr)	Wet Weight (g)
60% Latex(HA)	100	167
15%Teric	0.5	3.33
50% Wingastay-L	1	2
50%ZDEC	1	2
50%Sulphur	2	4
50%CaCO ₃	Vary(10,20,30)	-
30%China clay	Vary(10,20)	-
15%Silica	Vary(10, 20, 30)	-
50%ZnO	13	26
20%NH ₄ Cl	9.33	46.65

4.3 ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมเพานด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการทำงานของการจุ่มแบบใช้สารไวต่อความร้อน โดยใช้ยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง เพื่อให้ปริมาณแอมโมเนียสูงเล็กน้อย นำมาผสมสารเคมีตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. วัด pH ของ ZnO ที่ใช้ในการผสม
2. ชั่งน้ำยางและสารเคมีตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้เรียบร้อยแล้ว
3. นำน้ำยางชั้นที่ผ่านการกรองมาทวนเป็นเวลา 5 นาที
4. ใส่สารเพิ่มความเสถียร (Teric) ลงในน้ำยางทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
5. ใส่สารป้องกันการเสื่อม (Wingstay -L) ทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
6. ใส่สารตัววัลคาไนซ์ (ZDEC, Sulphur) ลงไปในน้ำยางที่ละตัว และทวนให้เข้ากันเป็นเวลา ประมาณ 5 นาที
7. ใส่ซิงค์ออกไซด์ 1phr ลงไปในน้ำยางก่อน เพื่อช่วยกระตุ้นการวัลคาไนซ์ของน้ำยาง ทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
8. บ่มน้ำยางที่อุณหภูมิห้องโดยการทวนอย่างช้าๆ (ความเร็วในการทวน 40 รอบ/นาทิจนให้ฟองอากาศเล็กๆ ที่ปนอยู่ในน้ำยางลอยมาสู่ด้านบน ระยะเวลาการบ่มขึ้นอยู่กับระดับ Chloroform number
9. ทดสอบ Chloroform test ของน้ำยางคอมเพานด์ให้ได้ระดับ 2-3
10. กรองน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วผ่านตะแกรงกรอง โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ
11. ใส่ซิงค์ออกไซด์ที่เหลือทั้งหมดลงไปน้ำยาง ทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
12. ใส่แอมโมเนียมคลอไรด์ลงไปน้ำยาง ทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 3 นาที
13. ปรับค่า pH ของ ZnO ให้ได้ประมาณ 10.05 จากนั้นนำน้ำยางนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 15-20°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที
14. นำน้ำยางคอมเพานด์ไปทดสอบค่าความหนืด (โดยใช้สปินเดิลเบอร์ 4 ความเร็ว 20รอบ/ นาที) และวัดค่า pH ก่อนแล้วจึงนำไปจุ่มแบบพิมพ์ต่อไป
15. หลังจากจุ่ม แล้วนำยางไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วนำมาวัดความหนาของยางที่ได้

หมายเหตุ ถ้ามีสารตัวเติม (CaCO_3 , China clay, Silica) ในสูตรน้ำยางคอมเพานด์ ให้เติมหลังจากเติมกำมะถันแล้วแล้วทวนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์

5 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ศึกษาการเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์แบบไวต่อความร้อน โดยน้ำยางที่ใช้ในการวิจัยมีสมบัติดังตารางที่ 2.4

เนื่องจากค่า pH ของซิงค์ออกไซด์มีผลต่อปริมาณในการใช้ และขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ แบบไวความร้อน ในที่นี้จะทำการควบคุมปริมาณ NH_4Cl เท่ากับ 9.33 และนำน้ำยางที่เตรียมได้ไปทำการจุ่ม โดยใช้เวลาในการจุ่มเท่ากับ 50 วินาที จากตารางที่ 2.5 พบว่าถ้า pH ของซิงค์ ออกไซด์มีค่าน้อย ความเสถียรของน้ำยางก็จะต่ำ จึงทำให้ต้องแช่น้ำเย็นทันทีเพื่อช่วยรักษาความเสถียรของน้ำยาง และส่งผลให้ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ต่ำด้วย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ของซิงค์ออกไซด์มีค่ามากขึ้น (10.05) ความเสถียรของน้ำยางก็จะสูง จึงทำให้สามารถตั้งน้ำยางคอมเพาว์ดไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่เย็นโดยที่น้ำยางไม่สูญเสียสภาพ นอกจากนี้เมื่อ pH ของ ZnO เพิ่มขึ้นส่งผลให้ pH ของน้ำยางคอมเพานด์เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความหนาที่ได้จากการจุ่มน้อยลง และจากตารางพบว่าถ้า pH ของ ZnO มีค่าน้อย ปริมาณการใช้ ZnO จะน้อยกว่าที่ pH ของ ZnO ที่มีค่ามากที่อุณหภูมิ น้ำยางคอมเพานด์เดียวกัน (20°C)

ตารางที่ 2.4 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางชันชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้ในการวิจัย

สมบัติน้ำยาง	ค่าที่ได้
pH	10.20
TSC	62.36%
DRC	60.21%
MST	>800 วินาที
Viscosity(cps)	58.50
Alkalinity	0.65%

ตารางที่ 2.5 ผลของค่า pH ของ ZnO ต่อขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางและปริมาณในการใช้

ปริมาณ ZnO (phr)	pH ของ ZnO	ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางเมื่อเติม NH ₄ Cl	pH ของ น้ำยาง	ความหนาของ ยาง (มม.)
12	9.22	แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 20°C เป็นเวลาประมาณ 60 นาที แล้ว ควบคุมอุณหภูมิ 20°C แล้วนำไปใช้ จุ่ม	7.40	2.70
ปริมาณ ZnO (phr)	pH ของ ZnO	ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางเมื่อเติม NH ₄ Cl	pH ของ น้ำยาง	ความหนาของ ยาง (มม.)
13	10.05	ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาทีแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ ประมาณ 20°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิ 20°C แล้ว นำไปใช้จุ่ม	7.61	2.20
15	9.98	แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 18°C เป็นเวลาประมาณ 60 นาที แล้ว ควบคุมอุณหภูมิ 18°C แล้วนำไปใช้ จุ่ม	7.50	2.10

5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา

5.2.1 ผลของระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของน้ำยางคอมพอนด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

โดยการเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ ตามสูตรในตารางที่ 2.1 โดยทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 2.4.3 จนถึงขั้นตอนที่ 7 (เติมสารกระตุ้นเชิงค็อกซ์) แล้วนำน้ำยางมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 24, 48, 72 ชั่วโมงเพื่อศึกษาระยะเวลาในการเก็บน้ำยางว่าสามารถเก็บได้นานเท่าไรที่อุณหภูมิห้องโดยน้ำยางยังเหมาะสมกับการจุ่มอยู่ โดยทำการศึกษาระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางโดยใช้ค่า Chloroform number เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับการวัลคาไนซ์ และศึกษาความหนืดของน้ำยางคอมพอนด์ ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 2.6 พบว่าเมื่อเวลาการบ่มน้ำยางเพื่อขึ้นทำให้ความหนืดของน้ำยางคอมพอนด์ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และค่า ความหนืดก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับระดับการวัลคาไนซ์จะเพิ่มขึ้นด้วยแต่เป็นการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจากตารางสามารถพบว่าสามารถบ่มน้ำยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมและน้ำยางที่มีสารตัวเติมซิลิกาได้ถึง 3 วัน สำหรับสารตัวเติมอื่นๆสามารถบ่มได้เพียง 2 วัน โดยที่น้ำยางยังสามารถเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

ได้เนื่องจากระดับการวัดคาไลนซ์ยังอยู่ในระดับปานกลางคือมีค่า Chloroform number อยู่ประมาณ 2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพของน้ำยางคอมเพานด์ มีค่าสูง

ตารางที่ 2.6 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางต่อระดับการวัดคาไลนซ์และความหนืด ของน้ำยางคอมเพานด์

ระยะเวลา การบ่ม (ชั่วโมง)	Chloroform number				ความหนืด(cps)			
	ไม่มี สารตัว เติม	มี 50%CaCO ₃ 20 phr	มี 30%China clay 20phr	มี15% Silica 20 phr	ไม่มี สารตัว เติม	มี 50%CaCO ₃ 20 phr	มี 30%China clay 20 phr	มี15% Silica 20 phr
0	1	1	1	1	88.0	119	104.0	95.0
24	2	2	2	2	98.8	124	98.0	99.2
48	2	2-3	2-3	2	114.0	130	129.0	100.0
72	2-3	3	3	2-3	130.0	138	145.0	106.0

5.2.2 ผลของอุณหภูมิในการจุ่มต่อความหนาของยาง

โดยนำแบบจุ่มที่แปรอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 70, 80, 90, 100°C จุ่มลงไปใต้น้ำยางที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 20°C เป็นเวลา 20, 30, 40, 50 วินาที จากการทดลองรูปที่ 2.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิแบบจุ่มสูงขึ้นจะทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิความร้อนจากแบบจุ่มที่แพร่ไปยังน้ำยางมากขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเจลจะเพิ่มขึ้น (Blackley, 1966) การที่เจลได้เร็วทำให้ยางเกาะแบบชุบได้มากกว่าการเจลช้า ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิแบบจุ่มสูงขึ้นความหนาของยางก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 100°C เป็นอุณหภูมิที่ให้ความหนาสูงที่สุด

5.2.3 ผลของชนิดแบบจุ่มต่อความหนาของยาง

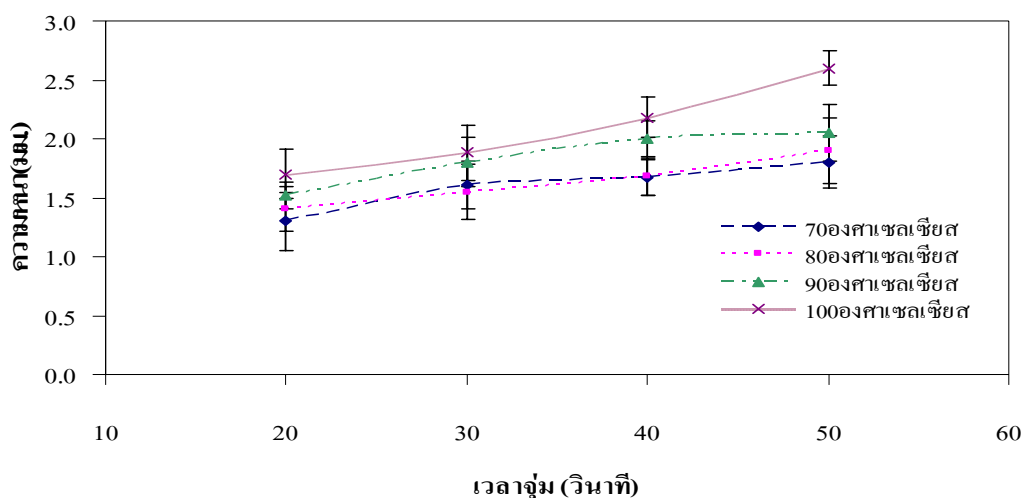
โดยใช้แบบจุ่มที่ต่างกันคือแบบจุ่มแก้ว และแบบจุ่มเซรามิกส์ โดยควบคุมอุณหภูมิแบบจุ่มให้เท่ากันคือ 100°C จุ่มลงไปเป็นเวลาการจุ่ม 20, 30, 40 และ 50 วินาที จากผลการทดลองรูปที่ 2.2 พบว่า เมื่อเวลาในการจุ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของยางเพิ่มมากขึ้น ทั้งแบบจุ่มเซรามิกส์และแบบจุ่มแก้ว โดยแบบจุ่มแก้วจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อนำแบบจุ่มทั้งสองมาเปรียบเทียบกันพบว่าความหนาที่ได้จากแบบจุ่มเซรามิกส์จะมากกว่าความหนาจากแบบจุ่มแก้วทุกๆเวลาในการจุ่ม เนื่องจากผิวแก้วมีความลื่นมันมากกว่าผิวแบบจุ่มเซรามิกส์ และผิวเซรามิกส์สามารถดูดซับน้ำได้

มากกว่าแบบจุ่มแก้ว และเมื่อพิจารณาความต่างของความหนาของแบบจุ่มทั้งสอง พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นความหนาของแบบจุ่มทั้งสองก็จะต่างกันมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากแบบจุ่มแก้วมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแบบจุ่มเซรามิกส์ ดังนั้นทำให้เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นความร้อนจากแบบจุ่มแก้วจะถ่ายเทความร้อนไปสู่ตัวอย่างได้ต่ำลง ส่งผลให้ความหนาไม่เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

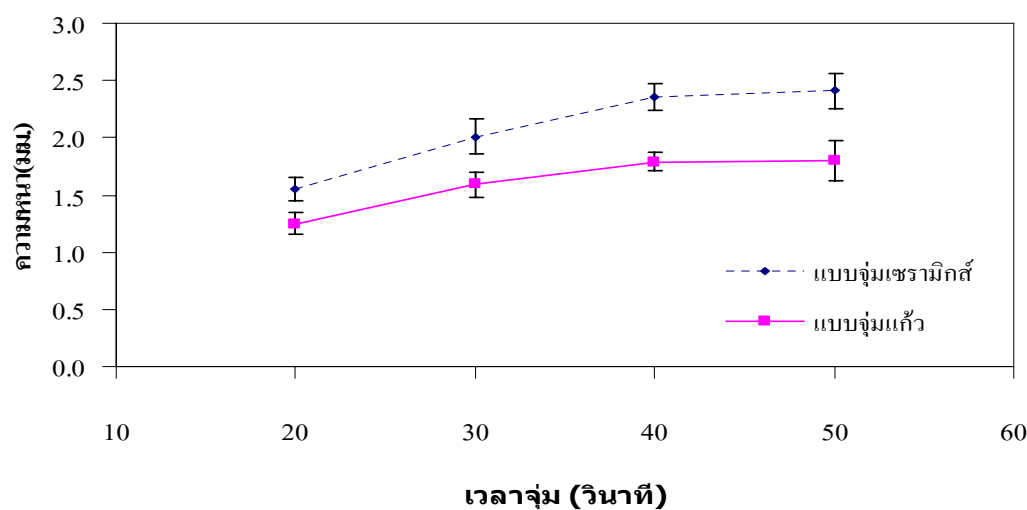
หมายเหตุ ค่าการนำความร้อนของแก้ว ที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ 0.93 W/mK

ค่าการนำความร้อนของเซรามิกส์ ที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ 1.06 W/mK

(<http://www.hukseflux.com/thermal%20conductivity/thermal.ht>)



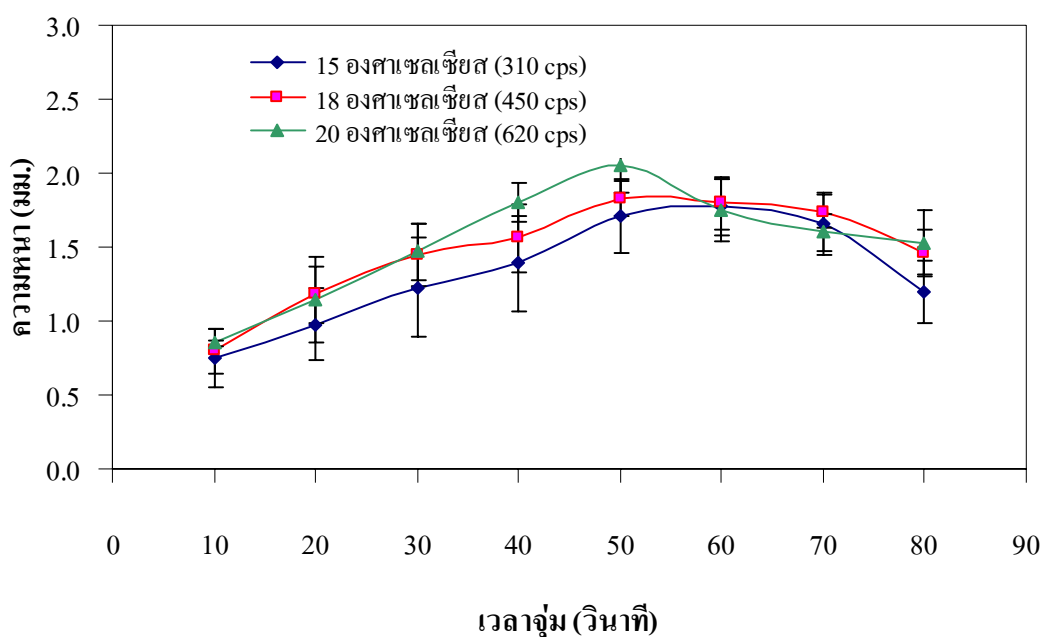
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการจุ่มและชนิดแบบจุ่มต่อความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr

5.2.4 ผลของเวลาจุ่มและอุณหภูมิน้ำยางคอมเพานด์ต่อความหนาของยาง

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.3 ทำให้เลือกใช้แบบจุ่มเซรามิกส์ในการจุ่มมาทำการทดสอบผลของเวลาการจุ่มและอุณหภูมิน้ำยางคอมเพานด์ ต่อการหนาของยาง โดยควบคุมอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 100°C จุ่มลงในน้ำยางคอมเพานด์ ที่แปรอุณหภูมิเท่ากับ 15, 18, 20, 22°C ที่ใช้เวลาในการจุ่มเท่ากับ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 วินาที ผลจากรูปที่ 2.3 พบว่าเมื่อเวลาแบบจุ่มเพิ่มขึ้น ความหนาของยางจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่งความหนาจะเริ่มค่อยๆ ลดลง โดยเฉพาะหลังจากเวลา 60 วินาที ในทุกๆ อุณหภูมิของน้ำยางคอมเพานด์ จึงทำให้สามารถทราบถึงเวลาที่มากที่สุดในการจุ่มได้ นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความหนืดของน้ำยางคอมเพานด์เพิ่มขึ้น ความเสถียรของน้ำยางลดลง ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น และสำหรับที่อุณหภูมิ 22°C ดังนั้นน้ำยางคอมเพานด์ ควรมีอุณหภูมิเท่ากับ 20°C จึงจะเหมาะสมที่สุดและจากรูปพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการจุ่มเวลาประมาณ 50 วินาที



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาจุ่มและอุณหภูมิของน้ำยางต่อความหนาของยาง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr

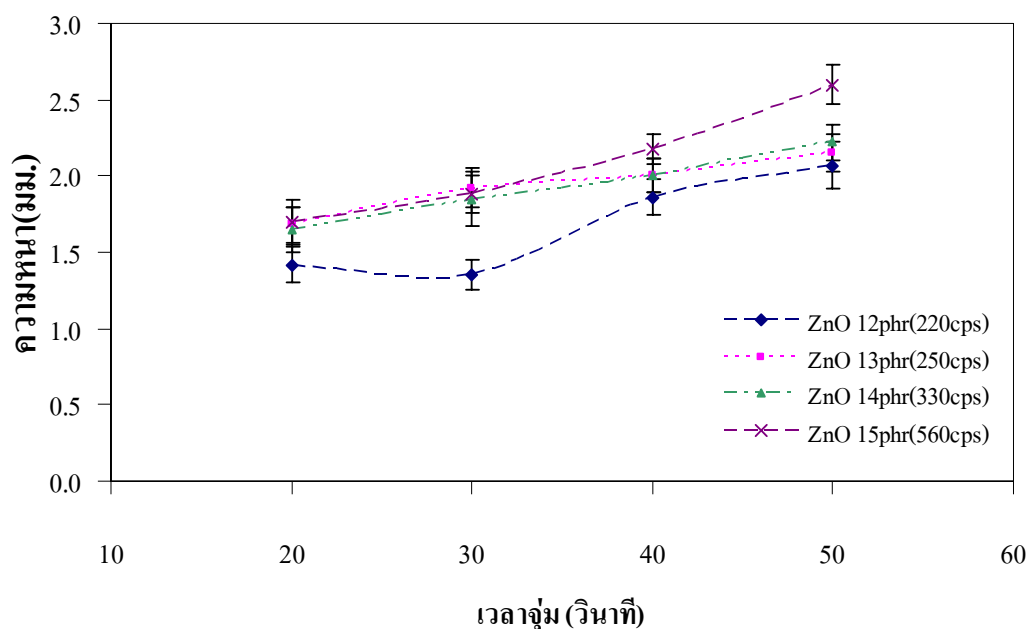
5.2.5 ผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อความหนืดของน้ำยางและความหนาของน้ำยาง

เตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตาราง 2.3 โดยแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์เท่ากับ 12, 13, 14 และ 15 phr แล้วนำมาวัดค่าความหนืดของน้ำยางคอมเพานด์ที่ได้ แล้วนำแบบจุ่มที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 100°C จุ่มลงไปในน้ำยางที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 20°C เป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วินาที ดังแสดงผลในตารางที่ 2.7 และรูปที่ 2.4 ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์

เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่มีซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำยางมี Zn^{2+} มากขึ้นและ Zinc amine ion ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ใช้ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากัน จากการที่มี Zinc amine ion ที่เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้เมื่อได้รับความร้อน ก็จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็น Zn^{2+} เพิ่มมากขึ้น ด้วย และเมื่อสัมผัสกับผิวของอนุภาคยาง ก็จะส่งผลให้ความหนาของยางเพิ่มมากขึ้นด้วย ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นและการที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความหนืดของน้ำยางเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2.7 ความหนาของยางและความหนืดเมื่อแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์ กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr

เวลาจุ่ม(วินาที)	ความหนาของยาง(มม.)ที่แปรปริมาณซิงค์ออกไซด์			
	12phr(320cps)	13phr(450cps)	14phr(530cps)	15phr(660cps)
20	1.42±0.12	1.68±0.12	1.65±0.15	1.70±0.15
30	1.35±0.10	1.92±0.13	1.85±0.12	1.88±0.12
40	1.86±0.12	2.00±0.11	2.00±0.11	2.18±0.10
50	2.07±0.15	2.15±0.12	2.22±0.12	2.60±0.13



รูปที่ 2.4 ความหนาของยางและความหนืดเมื่อแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์ กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr

5.2.6 ผลของปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อความหนืดของน้ำยางและความหนาของน้ำยาง

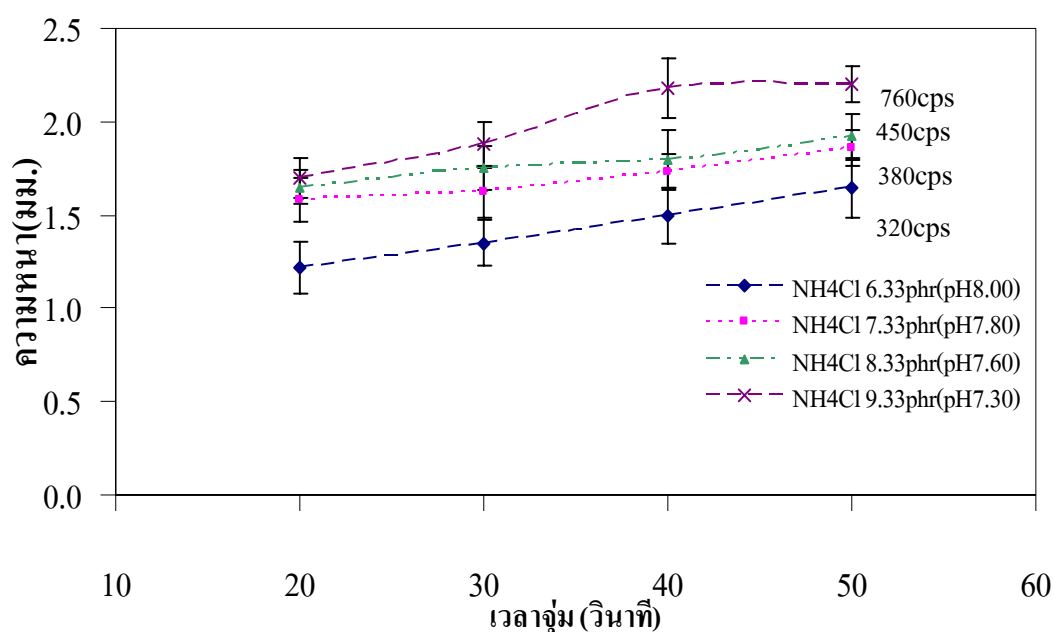
โดยเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ตามสูตรในตารางที่ 2.2 โดยแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากับ 6.33, 7.33, 8.33 และ 9.33 phr จากผลการทดลองในตารางที่ 2.8 และรูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อปริมาณ NH_4Cl เพิ่มขึ้นจาก 6.33 phr เป็น 7.33 phr จะทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อปริมาณ NH_4Cl เพิ่มขึ้นจาก 8.33 phr เป็น 9.33 phr ความหนาของยางจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในทุกๆระยะเวลาการจุ่มและจากการที่ความหนาใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณ NH_4Cl เพิ่มขึ้นจาก 8.33 เป็น 9.33 phr เนื่องจาก NH_4Cl ที่เติมลงไปให้น้ำยางอยู่ในรูป สารละลาย 20% จึงให้เมื่อปริมาณ NH_4Cl มากขึ้นปริมาณน้ำก็มากขึ้นเช่นเดียวกันส่งผลให้ความหนาของยางไม่เพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าเมื่อใส่ปริมาณ NH_4Cl เพิ่มมากขึ้นอีกก็ไม่ส่งผลให้ความหนาของยางเพิ่มมากขึ้นได้ และถ้าปริมาณ NH_4Cl เท่า 10.33 phr น้ำยางก็จะสูญเสียสภาพ แต่ที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก pH ที่ต่ำลง และจากการที่เติม NH_4Cl มากขึ้นทำให้ความหนาเพิ่มขึ้นเนื่องจาก NH_4Cl ที่เติมลงไปนั้นจะทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนลดลง และเมื่อเข้าระบบสมดุลความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ Zinc ammine ion เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้น้ำยางเกิดการเจลได้มากขึ้นเมื่อส่วนของเกลือของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ละลายเพิ่มมากขึ้น ก็คือความหนาของยางก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และการที่เติมปริมาณ NH_4Cl เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางคอมปอนด์ ลดลง และความหนืดของน้ำยางคอมปอนด์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก NH_4Cl เองเมื่อเติมลงไปน้ำยางจะทำให้อยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งการที่ NH_4Cl ละลายน้ำได้จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำทำให้ได้ HCl ออกมาด้วยทำให้ NH_4Cl มีสภาพเป็นกรดและเมื่อเติมลงไปให้น้ำยางคอมปอนด์ทำให้น้ำยางมีสภาพเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น และจากการที่ pH มีค่าลดลงจึงทำให้ความหนืดของยางเพิ่มสูง และผลของความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้น และจากการทดลองนี้จึงทำให้เลือกใช้ NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr เนื่องจากจะทำให้ได้ความหนาตามต้องการและความหนืดมากด้วย

นอกจากนี้จากตารางที่ 2.9 และรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าในทางกลับกันเมื่อใช้ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์คงที่ที่ 9.33 phr เพื่อให้ได้ความหนา 1.5-2.0 มม. ที่ เวลาจุ่ม 30 วินาที ปริมาณ 50% ZnO ที่เหมาะสมคือ 13, 14, 15 phr ที่อุณหภูมิแบบจุ่ม 80, 90, 100 องศาเซลเซียส แต่หากใช้อุณหภูมิแบบจุ่มที่ 70 องศาเซลเซียสควรใช้ปริมาณ 50% ZnO 15 phr โดยความหนืดของน้ำยางคอมปอนด์ เพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการคืออยู่ในช่วงประมาณ 250-600 cps

ตารางที่ 2.8 ความหนาของยางและความหนืด เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ กำหนด ZnO เท่ากับ 15 phr

เวลาจุ่ม(วินาที)	ความหนาของยาง(มม.)ที่แปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์			
	6.33phr(8.00)	7.33phr(7.80)	8.33phr(7.60)	9.33phr(7.30)
20	1.22±0.14	1.58±0.12	1.65±0.09	1.70±0.11
30	1.35±0.12	1.62±0.13	1.75±0.12	1.88±0.12
40	1.50±0.15	1.73±0.10	1.80±0.15	2.18±0.16
50	1.65±0.16	1.86±0.10	1.92±0.12	2.20±0.10

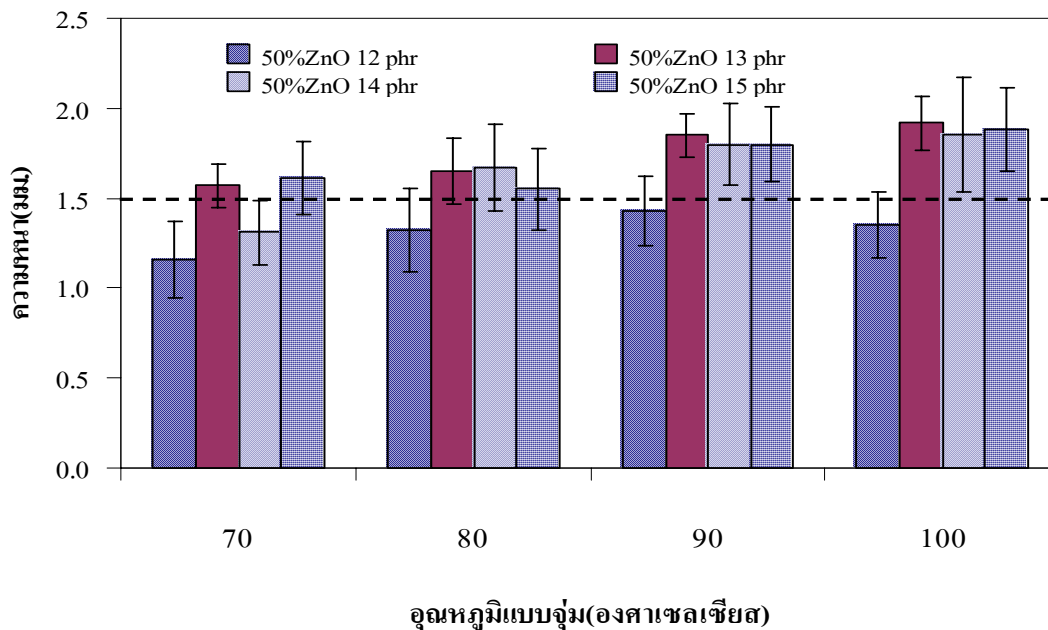
หมายเหตุ เมื่อปริมาณ NH_4Cl เท่า 10.33 phr นำยางก็จะสูญเสียสภาพ



รูปที่ 2.5 ความหนาของยางและความหนืด เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ กำหนด ZnO เท่ากับ 15 phr

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง (มม.) เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที

อุณหภูมิแบบจุ่ม (องศาเซลเซียส)	ความหนาของยาง(มม.)เมื่อแปรปริมาณ ZnO ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที			
	12 phr(220cps)	13 phr(250cps)	14 phr(330cps)	15 phr(560cps)
70	1.16±0.21	1.57±0.12	1.31±0.18	1.61±0.20
80	1.32±0.23	1.65±0.18	1.67±0.24	1.55±0.23
90	1.43±0.19	1.85±0.12	1.80±0.23	1.80±0.21
100	1.35±0.18	1.92±0.15	1.85±0.32	1.88±0.23



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง(มม.)เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง

5.3.1 ผลของอุณหภูมิในการอบเพื่อให้ยางคงรูปต่อสีของยาง

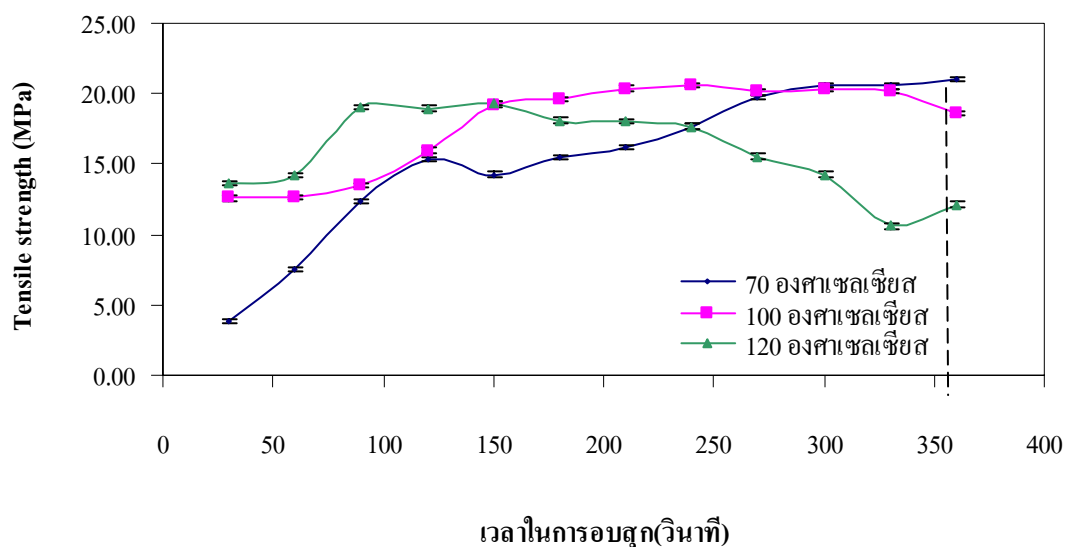
โดยเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ ตามสูตรในตารางที่ 2.2 และทำการควบคุมอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 100°C และอุณหภูมิน้ำยางคอมพอนด์เท่ากับ 20°C ทำการแปรอุณหภูมิในการอบเพื่อให้ยางคงรูปเท่ากับ 70°C และ 100°C เป็นเวลา 6 และ 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองในรูปที่ 2.7 พบว่าถ้าอุณหภูมิในการอบให้ยางคงรูปสูงจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มกว่าการใช้อุณหภูมิในการอบต่ำ เป็นสาเหตุให้ถ้าต้องการให้สีของยางก็ควรใช้อุณหภูมิในการอบ 70°C



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบต่อสีของยางที่กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr

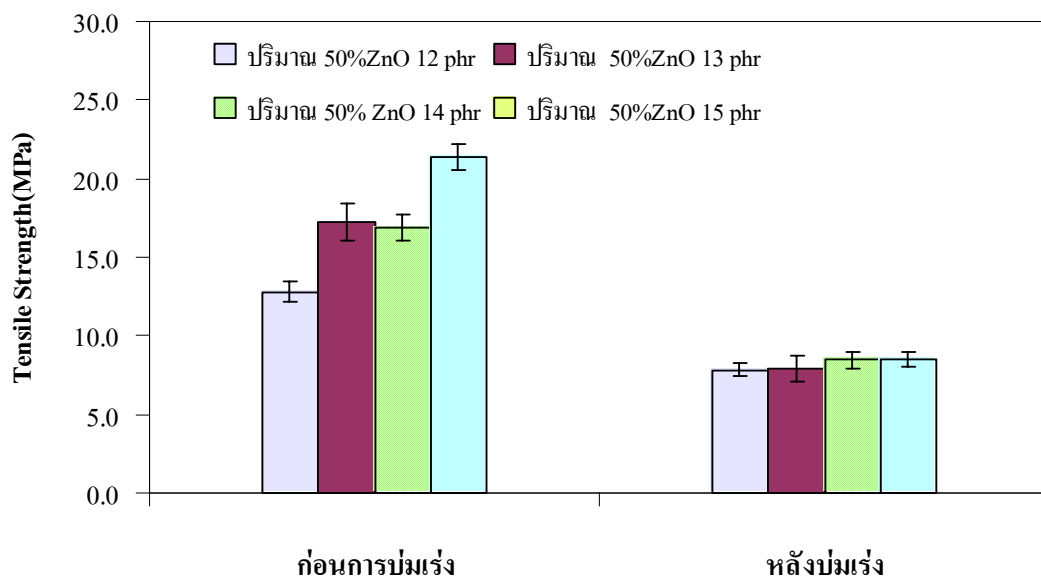
5.3.2 ผลของเวลาในการอบให้วัลคาไนซ์ (cure time) ต่อความต้านทานแรงดึงที่อุณหภูมิในการอบต่างๆ

โดยเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ ตามสูตรในตารางที่ 2.2 แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำยางเท่า 20°C แล้วทำแผ่นฟิล์มยางโดยการเทน้ำยางปริมาณประมาณ 50 มิลลิลิตร (เพื่อให้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิลิตร) ลงไปบนแผ่นกระจก ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วและแห้ง แล้วนำไปอบโดยแปรอุณหภูมิในการอบเพื่อให้วัลคาไนซ์เท่ากับ 70, 100, 120 เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 ไปเรื่อยๆจนถึง 360 นาที เมื่อครบเวลาทุกๆ 30 นาที จึงนำมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง จากผลการทดลองรูปที่ 2.8 พบว่าเมื่อเวลาในการอบเปลี่ยนจะทำให้ค่า tensile เปลี่ยนโดยมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง และในแต่ละอุณหภูมิในการอบจะมี optimum cure time ที่แตกต่างกัน ก็คือเวลาในการอบที่ดีที่สุด จากการมีค่า tensile สูงสุด และจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิในการอบ 70°C ค่า tensile สูงสุดที่อยู่ประมาณ 360 นาที หรือ 6 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิในการอบที่ 100°C ค่า tensile สูงสุดอยู่ประมาณ 240 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิในการอบที่ประมาณ 150 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมงครึ่ง จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิในการอบวัลคาไนซ์ลดลงเวลาที่ใช้ในการอบจะมากขึ้น และเมื่อดูค่า tensile strength พบว่าถ้าอุณหภูมิในการอบต่ำจะทำให้ค่า tensile strength ที่เวลาการสุกของยางมากกว่าที่อุณหภูมิการอบสูง อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการ cross-link ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ค่า tensile strength ต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่ดี ก็ควรเลือกอุณหภูมิในการอบต่ำ (70°C) เนื่องจากจะทำให้ได้ค่า tensile strength ที่สูงและสีของยางที่ได้ก็จะสวยด้วย



รูปที่ 2.8 ผลระยะเวลาในการอบต่อความต้านทานต่อแรงดึงที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ กำหนด

$\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr



รูปที่ 2.9 ค่า tensile strength ของแผ่นฟิล์มทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง ต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr (อบที่ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง)

5.3.3 ผลของสมบัติทางวัลคาไนซ์ของฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม

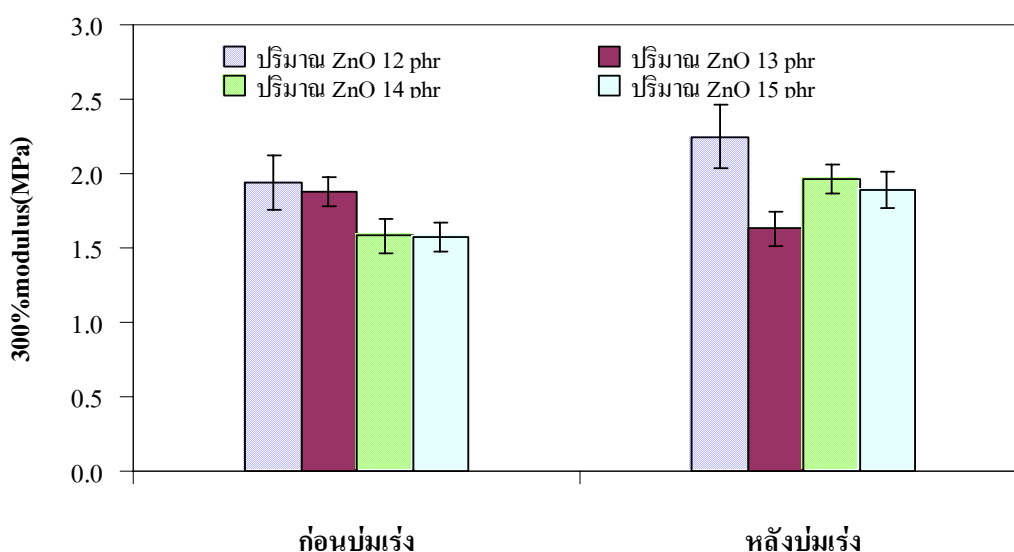
โดยการเตรียมน้ำยางคอมพอน์ตามสูตรในตารางที่ 2.2 (ปริมาณ ZnO 12, 13, 14 และ 15 ตามลำดับ) แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำยาง เท่ากับ 20°C แล้วทำแผ่นฟิล์มยางโดยการทำการเทน้ำยางเป็นปริมาณ 50 มิลลิลิตร (เพื่อให้แผ่นยางมีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิลิตร) ลงไปบนแผ่นกระจกที่ทำความสะอาดแล้วและแห้ง แล้วนำเข้าไปอบเพื่อให้ยางคงรูป ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงจะนำไปหาสมบัติต่างๆเป็นสมบัติหลังการบ่มแรงต่อไป

5.3.3.1 ผล tensile strength ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรง ที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม

จากรูปที่ 2.9 แสดงค่า tensile strength ของแผ่นฟิล์มยางจะมีค่าลดลงเมื่อนำแผ่นฟิล์มยางไปบ่มแรงที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากยางที่ถูกบ่มแรงด้วยอุณหภูมิด้วยความร้อนสูงคือ 100°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ โดยที่ก่อนบ่มแรงปริมาณ 50% ZnO 15 phr จะให้ค่าสูงสุดคือ 21.37 MPa สำหรับสูตรที่ให้ค่า tensile strength ก่อนการบ่มแรงต่ำที่สุดคือปริมาณ 50% ZnO 12 phr และจากการทดลองนี้พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อการดึงเมื่อถูกบ่มแรงมีค่าสูงสุด ที่ปริมาณ 50% ZnO 15 phr คือ 60.22% และค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อการดึงเมื่อถูกบ่มแรงมีค่าต่ำสุด ที่ปริมาณ 50% ZnO 12 phr คือ 38.95%

5.3.3.2 ผลของ ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO

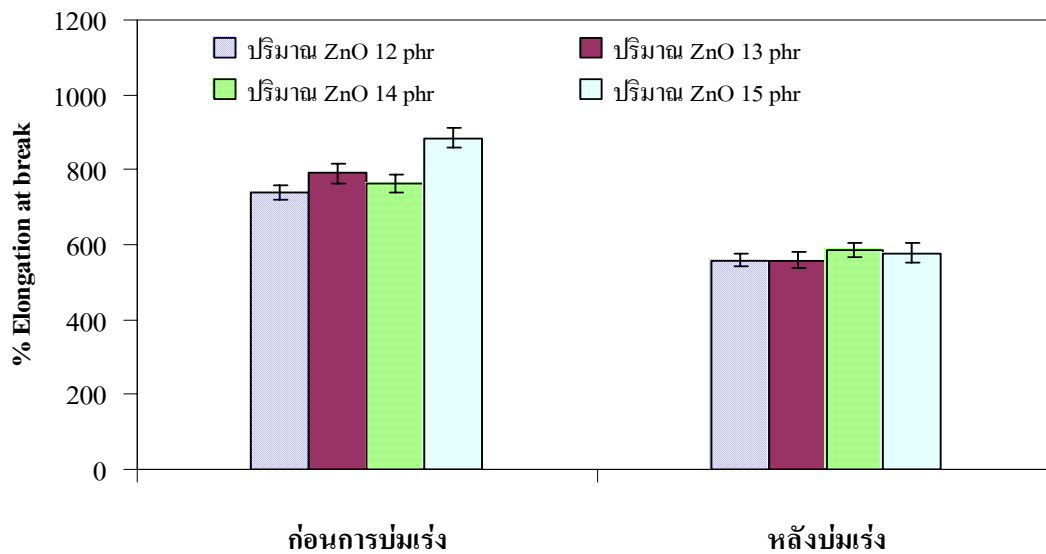
จากรูปที่ 2.10 แสดงค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางหลังบ่มแรงมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจากก่อนการบ่มแรง โดยที่ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางก่อนการบ่มแรงที่มีค่าสูงสุดคือ ปริมาณ 50% ZnO 12 phr ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.94 MPa และหลังการบ่มแรงมีค่าเท่ากับ 2.25 MPa ซึ่งแสดงว่าเมื่อทำการบ่มแรงทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มของยางในแต่ละสูตรที่ทำการทดลองจะไปในแนวเดียวกัน ยกเว้นสูตรที่ ปริมาณ 50% ZnO 13 phr หลังบ่มแรงจะมีค่า 300% modulus ต่ำกว่าก่อนบ่มแรง แสดงว่าหลังการบ่มแรงทำให้ยางมีความแข็งแรงลดลง



รูปที่ 2.10 ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr

5.3.3.3 ผลของค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO

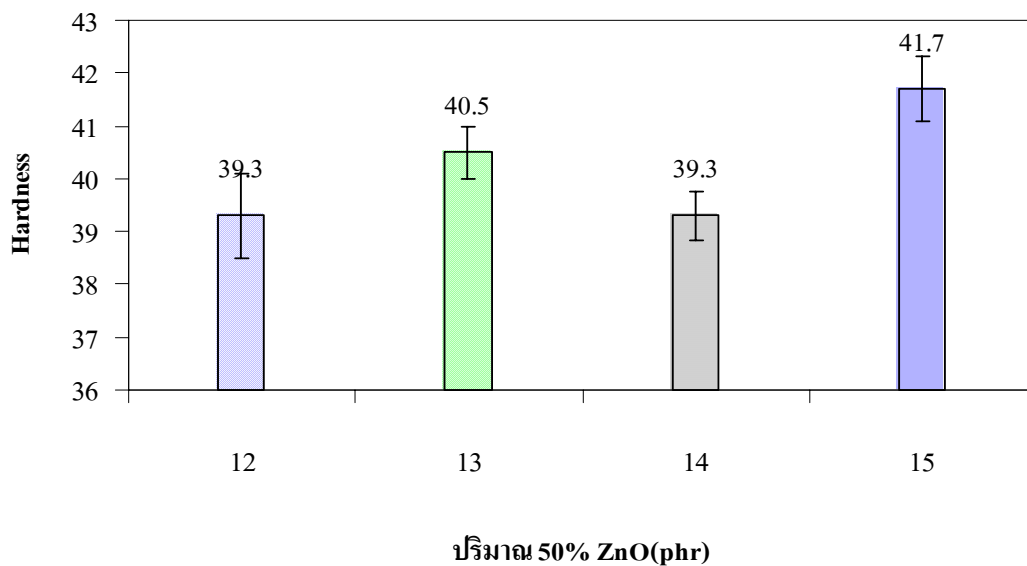
จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าค่า % elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางจะมีค่าลดลงเมื่อนำแผ่นฟิล์มยางไปบ่มแรงที่อุณหภูมิสูง โดยก่อนที่จะทำการบ่มแรง ปริมาณ 50% ZnO 15 phr จะให้ค่า% elongation at break ที่สูงที่สุดคือ 885.47 จากรูปที่ 4.13 %การเปลี่ยนแปลง elongation at break ก็มีค่าสูงสุดเช่นกันคือ 34.77% สำหรับ 50% ZnO 12 phr จะให้ค่า % elongation at break ต่ำที่สุดคือ 739.10 และสำหรับ 50% ZnO 14 phr จะให้ค่า % การเปลี่ยนแปลง elongation at break ที่ต่ำที่สุดคือ 23.27%



รูปที่ 2.11 ค่า % Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr

5.3.3.4 ผลของค่า Hardness ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO

จากรูปที่ 2.12 พบว่าเมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ปริมาณ 50% ZnO 15 phr จะให้ค่า Hardness สูงที่สุดคือ 41.70

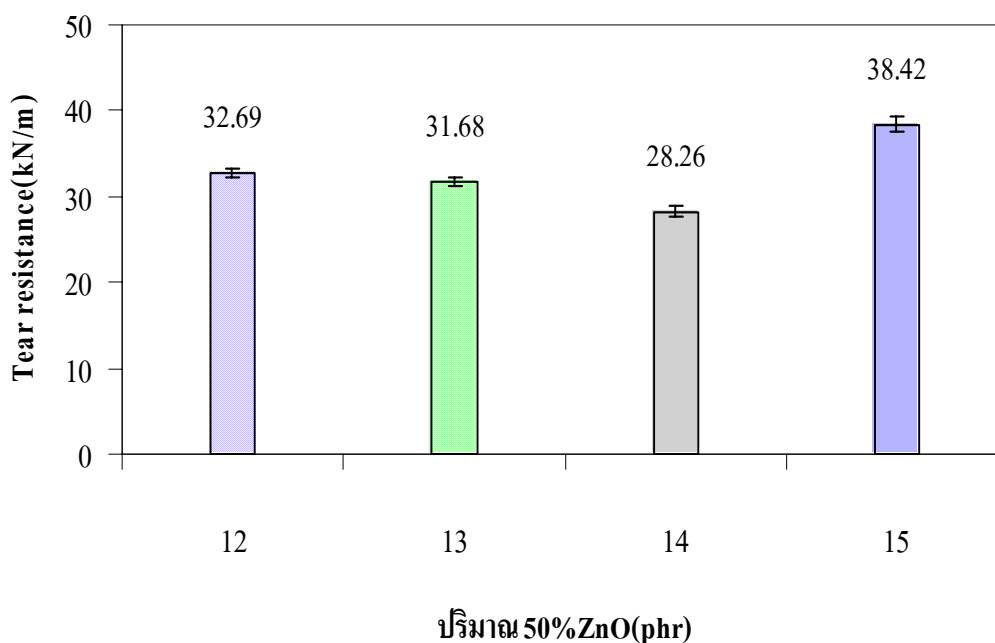


รูปที่ 2.12 ค่า Hardness ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 15:9.33 phr

5.3.3.5 ผลของค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงต่อปริมาณ

ZnO

จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าค่า tear resistance จะใกล้เคียงกันแต่ที่ปริมาณ 50% ZnO 15 phr จะมีค่า tear resistance ที่สูงที่สุดคือ 38.42 และที่ปริมาณ 50% ZnO 14 phr จะมีค่า tear resistance ที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 2.13 ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด NH_4Cl เท่ากับ 9.33 phr

5.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติม (สีขาว) ที่เติมลงไปในน้ำยางว่ามีผลอย่างไรต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารตัวเติม

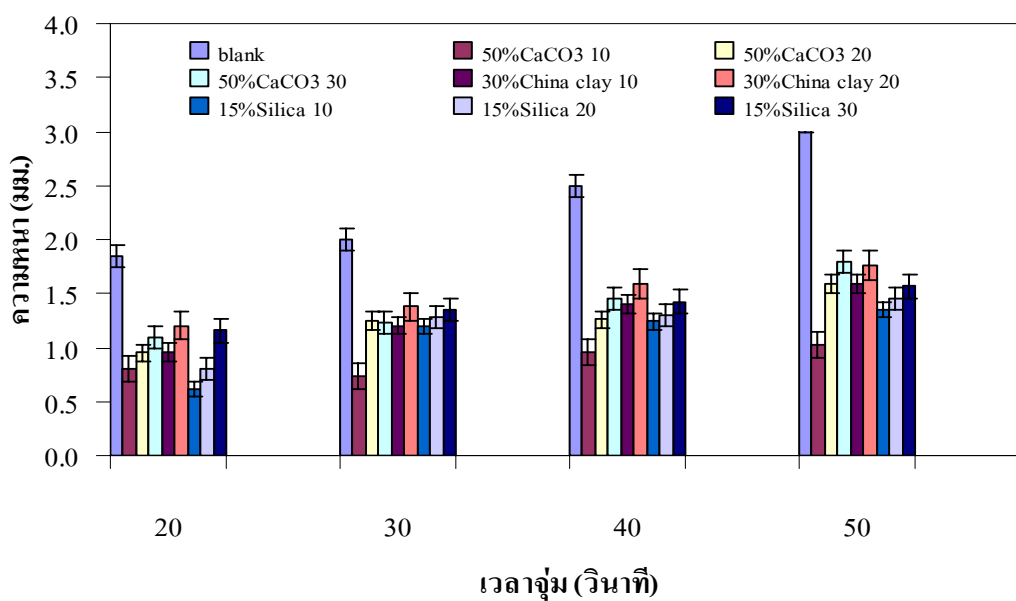
5.4.1 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อความหนาของยาง

โดยนำความหนาของยางในระบบน้ำยางคอมปอนด์แบบไวความร้อน ในระบบ Zinc amine complex ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต, ไชนาเคลย์, ซิลิกา และไม่มีสารตัวเติมนำมาเปรียบเทียบความหนากัน โดยควบคุม อุณหภูมิแบบจุ่ม (เซรามิกส์) เท่ากับ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลาในการจุ่ม เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 วินาที จากตารางที่ 2.10 และรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการเติมสารตัวเติม จะให้ความหนาของยางมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่เติมสารตัวเติม อาจจะเนื่องจากเมื่อไม่มีสารตัวเติมปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางคอมปอนด์ จะมีมากกว่าคือมีค่าเท่ากับ 51.33% และสำหรับสารตัวเติมที่ให้ความหนามากที่สุดคือ 50% CaCO_3 ในปริมาณ 30 phr ซึ่งมีปริมาณของแข็งของน้ำยางคอมปอนด์ เท่ากับ 50.04 % ความหนารองลงมาคือ 30% China clay

20 phr ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยางคอมปาวด์เท่ากับ 46.23 % และสำหรับ 15% Silica 30 phr จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยางคอมปาวด์เท่ากับ 34.48% ส่งผลให้ความหนาวยังที่ได้มีค่าต่ำกว่าสารตัวเติมอื่นๆ

ตารางที่ 2.10 ความหนาของยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

เวลาจุ่ม (วินาที)	ความหนาของยาง(มม.)ที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม								
	blank	50%CaCO ₃			30%China clay		15%Silica		
		10	20	30	10	20	10	20	30
20	1.85	0.80	0.95	1.09	0.96	1.2	0.62	0.80	1.16
30	2.00	0.74	1.25	1.23	1.20	1.38	1.20	1.28	1.35
40	2.50	0.96	1.26	1.45	1.40	1.59	1.24	1.30	1.42
50	3.10	1.02	1.59	1.79	1.59	1.76	1.35	1.45	1.57



รูปที่ 2.14 ความหนาของยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

5.4.2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

โดยนำแผ่นยางที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต, ไชน่าเคลย์ , ซิลิกาและที่ไม่มีสารตัวเติม มาเปรียบเทียบกับสมบัติยางวัลคาไนซ์ในด้านต่างๆ

5.4.2.1 ผลความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง (ASTM D 412-80)

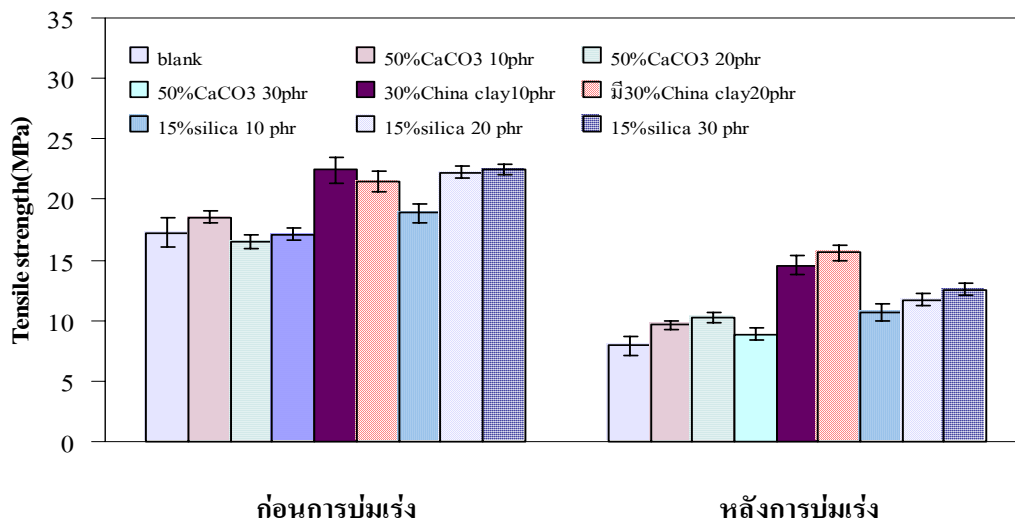
จากตารางที่ 2.11 และรูปที่ 2.15 พบว่าก่อนการบ่มเร่งยางที่ให้ค่า tensile strength ที่สูงที่สุดคือ 30% Silica 30 phr ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียง 30% china clay 20 phr รองลงมาเป็น 30% china clay 10 phr สำหรับสารตัวเติม 50% CaCO_3 20 phr จะให้ค่า tensile strength ที่ต่ำที่สุดซึ่งจะใกล้เคียงกับยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม ส่วนหลังการบ่มเร่งค่า Tensile strength ของยางทุกชนิด จะมีค่าลดลงทั้งสิ้น โดยยางที่มี 30% China clay 10 phr จะให้ค่า Tensile strength หลังบ่มเร่งสูงที่สุด

5.4.2.2 ผลของค่าความเค้นที่ส่วนยืดกำหนด (300% modulus) แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง (ASTM D 412-80)

จากตารางที่ 2.12 และรูปที่ 2.16 พบว่าก่อนการบ่มเร่งยางที่มีสารตัวเติม 50% CaCO_3 ทุกปริมาณจะให้ค่า 300% modulus ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับยางชนิดอื่นๆ แต่เมื่อเติมสารตัวเติม 15% Silica 30 phr จะให้ค่า 300% modulus ที่สูงที่สุด

ตารางที่ 2.11 ค่า tensile strength แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

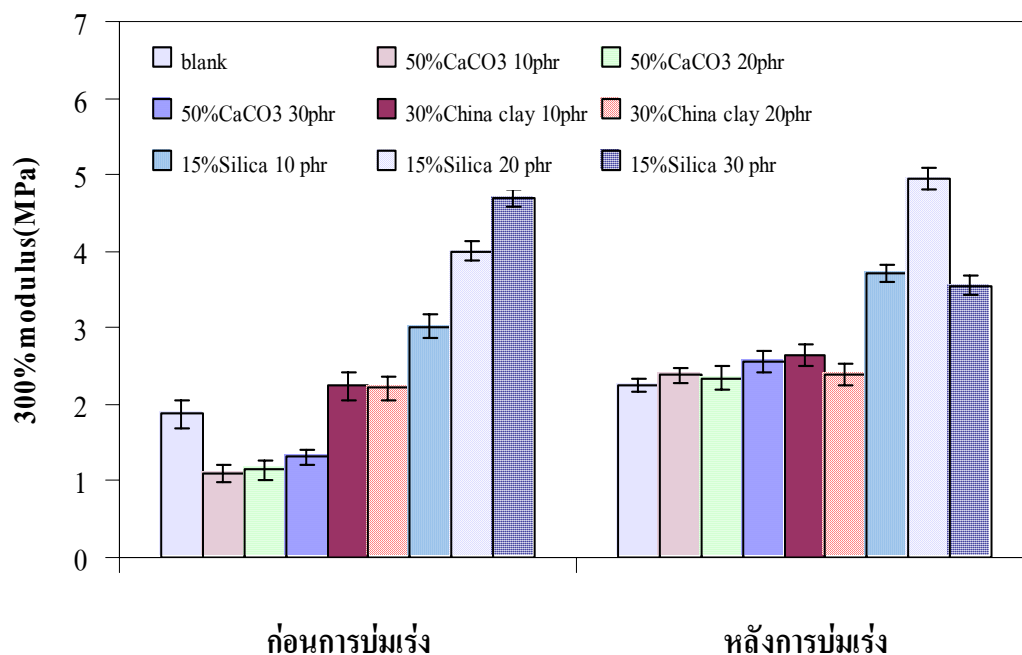
ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	Tensile strength(MPa)		% การเปลี่ยนแปลง Tensile strength
	ก่อนการบ่มเร่ง	หลังการบ่มเร่ง	
blank	17.28±1.2	7.93±0.8	54.10
มี50% CaCO_3 10phr	18.50± 0.5	9.63±0.4	48.08
มี50% CaCO_3 20phr	16.49±0.6	10.28±0.4	37.63
มี50% CaCO_3 30phr	17.14±0.5	8.87±0.5	49.40
มี30%China clay10phr	22.41±1.0	14.54±0.8	35.10
มี30%China clay20phr	21.50±0.9	15.61±0.6	25.10
มี15%Silica 10 phr	18.90±0.8	10.70±0.68	43.38
มี15%Silica 20 phr	22.22±0.5	11.72±0.46	47.25
มี15%Silica 30 phr	22.50±0.40	12.55±0.52	44.22



รูปที่ 2.15 ค่า Tensile strength แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง กำหนด ZnO:NH₄Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

ตารางที่ 2.12 ค่า 300% modulus แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อน และหลัง การบ่มแรง กำหนด ZnO:NH₄Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	300% modulus (MPa)	
	ก่อนการบ่มแรง	หลังการบ่มแรง
blank	1.88± 0.18	2.25±0.09
มี50%CaCO ₃ 10phr	1.10±0.11	2.38±0.10
มี50%CaCO ₃ 20phr	1.14±0.12	2.34±0.15
มี50%CaCO ₃ 30phr	1.31±0.10	2.56±0.14
มี30China clay 10phr	2.24±0.18	2.64±0.13
มี30China clay 20phr	2.21±0.15	2.40±0.14
มี15%Silica 10 phr	3.02±0.16	3.72±0.11
มี15%Silica 20 phr	4.00±0.12	4.96±0.14
มี15%Silica 30 phr	4.69±0.12	3.55±0.13



รูปที่ 2.16 ค่า 300% modulus แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง กำหนด ZnO:NH₄Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

5.4.2.3 ผลระยะยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง (ASTM D 412-80)

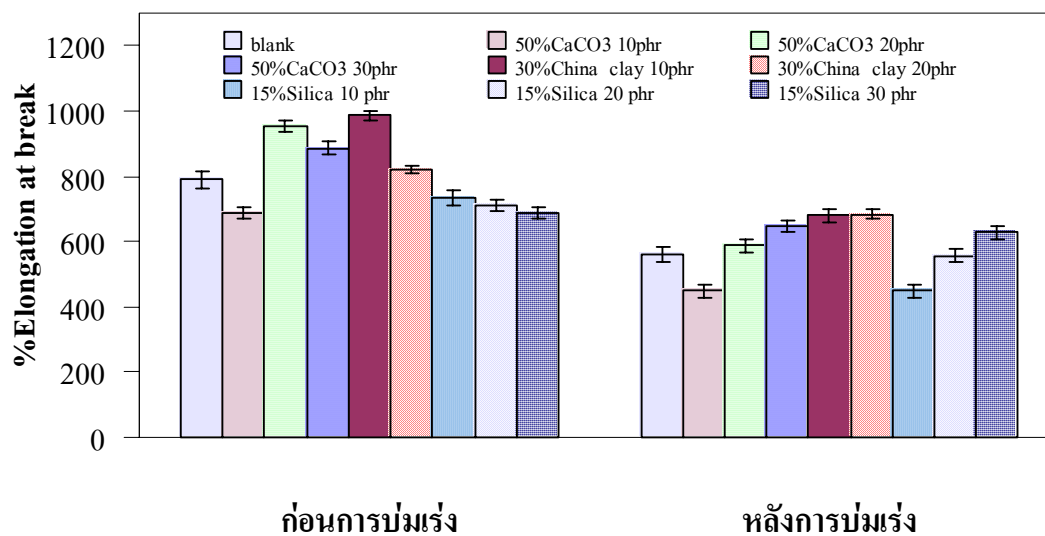
จากตารางที่ 2.13 และรูปที่ 2.17 พบว่าก่อนการบ่มแรงยางที่มี 30% China clay 10 phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่มากที่สุด รองลงมาคือ 50% CaCO₃ 20phr และ 30% China clay 20 phr ตามลำดับ และสำหรับ 50% CaCO₃ 10phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะใกล้เคียงกับ 15% Silica 30 phr ซึ่งจากกราฟสารตัวเติมซิลิกาจะให้ค่า % Elongation at break ที่ต่ำกว่ากับยางชนิดอื่นๆ และเมื่อนำไปบ่มแรงจะพบว่าค่า % Elongation at break ลดลงทุกชนิด โดยยางที่มี 30% China clay 20 phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่มากที่สุด และค่าที่น้อยคือ 15% Silica 30 phr

5.4.2.4 ผลของความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มแรง (ASTM D 2240)

จากตารางที่ 2.14 และรูปที่ 2.18 พบว่ายางที่มี 15% Silica 30 phr จะให้ค่าความแข็งแรงที่มากที่สุด ส่วนยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมจะให้ค่าความแข็งแรงที่น้อยกว่ายางที่มีการเติมสารตัวเติมทุกชนิด และเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดเดียวกัน

ตารางที่ 2.13 ค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้ง
และหลังการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	% Elongation at break		%การเปลี่ยนแปลง Elongation at break
	ก่อนการบ่มเร่ง	หลังการบ่มเร่ง	
blank	790.55±25	558.92±22	29.30
มี50%CaCO ₃ 10 phr	685.5±18	448.22±20	33.10
มี50%CaCO ₃ 20 phr	953.48±20	587.05±22	38.43
มี50%CaCO ₃ 30 phr	886.83±18	646.73±17	27.07
มี30%China clay 10phr	985.16±22	680.03±20	34.02
มี30%China clay 20phr	818.16±12	683.50±15	16.50
มี15%Silica 10 phr	732.45±22	448.8±21	35.99
มี15%Silica 20 phr	712.37±17	556.7±19	21.85
มี15%Silica 30 phr	685.24±17	629±20	8.13



รูปที่ 2.17 ค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อน
และ หลังการบ่มเร่ง กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

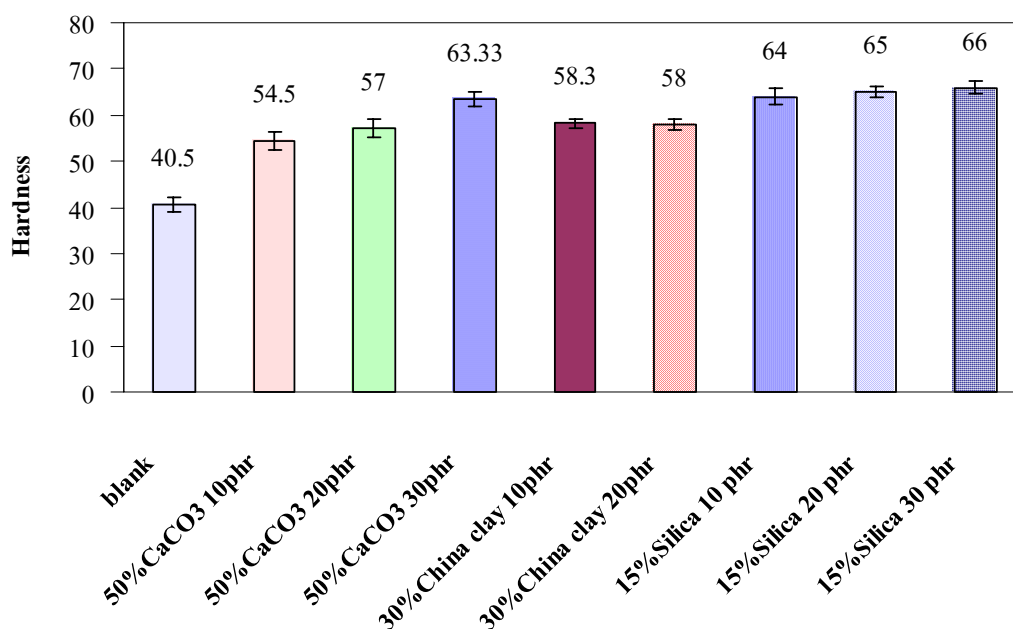
5.4.2.5 ผลของค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสาร
ตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง (ASTM D 624-81)

จากตารางที่ 2.15 และรูปที่ 2.19 พบว่ายางที่ 15% Silica 30 phr จะทำให้มีค่า tear
resistance ที่มากที่สุด เนื่องจากในยางมีสารตัวเติมเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับยางอื่นๆจึงทำให้

สามารถทำทนต่อการฉีกขาดได้มาก ส่วนยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมจะให้ค่า tear resistance ที่น้อยที่สุด ทำให้สามารถทนต่อการฉีกขาดได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 2.14 ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง
กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

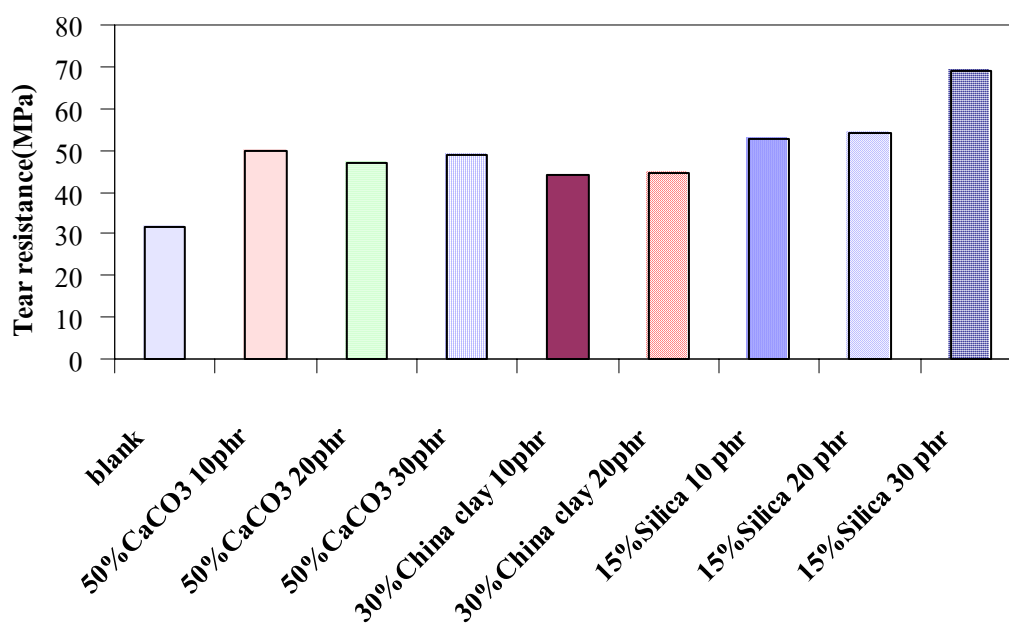
ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	Hardness ก่อนการบ่มเร่ง
blank	40.50±1.5
มี50%CaCO ₃ 10 phr	54.50±2.0
มี50%CaCO ₃ 20 phr	57.00±2.0
มี50%CaCO ₃ 30 phr	63.33±1.5
มี30China clay 10 phr	58.30±1.0
มี30China clay 20 phr	58.00±1.3
มี15%Silica 10 phr	64.00±1.8
มี15%Silica 20 phr	65.00±1.1
มี15%Silica 30 phr	66.00±1.5



รูปที่ 2.18 ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง
กำหนด $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

ตารางที่ 2.15 ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่ม
เร่ง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	tear resistance ก่อนการบ่มเร่ง
blank	31.68+0.50
มี50% CaCO_3 10 phr	49.80+0.60
มี50% CaCO_3 20 phr	46.91+0.30
มี50% CaCO_3 30 phr	48.79+0.5
มี30China clay 10 phr	44.25+1.2
มี30China clay 20 phr	44.50+1.5
มี15%Silica 10 phr	52.87+1.5
มี15%Silica 20 phr	54.08+1.2
มี15%Silica 30 phr	69.08+1.1



รูปที่ 2.19 ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่ม
เร่ง กำหนด $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$ เท่ากับ 13:9.33 phr

6 สรุปผลการทดลอง

1. pH ของซิงค์ออกไซด์ที่ควรใช้ประมาณ 10.05, เวลาที่ใช้ในการบ่มน้ำยางคอมพอนด์ 48 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับน้ำยางที่มี และไม่มีสารตัวเติมทุกชนิด สำหรับแบบจุ่มที่ใช้ควรเป็นแบบจุ่มเซรามิกส์
2. ความหนาของยางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่ม, เพิ่มอุณหภูมิ น้ำยางคอมพอนด์, เพิ่มอุณหภูมิแบบจุ่ม, เพิ่มปริมาณเกลือแอมโมเนียม, เพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ เพิ่มความเข้มข้นและปริมาณสารตัวเติม
3. ลำดับสารตัวเติม ที่สามารถให้ความหนาในช่วง 1.5-2.0 มม. เมื่ออุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 70 °C 50% ZnO 13 phr, 20% NH₄Cl 9.33 phr เป็นดังนี้
50%CaCO₃ 30 phr > 30%China clay 20 phr > 50%CaCO₃ 20 phr > 15%Silica 30 phr
4. อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมคือ 70 °C เพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำๆจะให้ยางที่มีสีสน้ำขุ่นและสมบัติความต้านทานแรงดึงก็สูงด้วย
5. สารตัวเติมที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติ 300% modulus, % Elongation at break, Hardness และ Tear resistance ที่ดี 15%Silica 30 phr
6. ต้นทุนที่ใช้ในการวิจัยค่อนข้างต่ำเนื่องจากการจุ่มแบบใช้สารไวต่อความร้อนระบบนี้ใช้สารเคมีที่มีราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย

7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

- 1 ควรศึกษาการใช้ active ZnO แทนการใช้ ZnO
- 2 ควรทดลองใช้อุณหภูมิแบบจุ่มที่สูงกว่า 70 °C สำหรับน้ำยางคอมพาวด์ที่มีการเติมสารตัวเติมเพื่อให้สามารถได้ความหนาที่สูงขึ้น

8 เอกสารอ้างอิง

จุฑารัตน์ อินทปิ่น. 2545. ผลิตสายสวนปัสสาวะจากน้ำยางธรรมชาติโดยการจุ่มแบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ.2532. “ระบบวัลคาไนซ์ของน้ำยางที่ใช้กำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยงเพื่อทำ
 สายน้ำเกลือ” รายงานวิจัยและพัฒนา, ภาควิชายางและพอลิเมอร์คณะวิทยาศาสตร์และ
 เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรพรรณ นิธิอุทัย และรุ่งทิพย์ .2535.ผลการเคลือบ (Coating) สารตัวเติมที่มีผลต่อการแปรรูปยาง.
 คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Aroon Thevar. 2001. “ THE THAI LATEX PRODUCT SECTOR” Directory of Thai Rubber
Industry 2001. 37-40

ASTM D 412-80. Standard Test Methods for Rubber PROPERTIES IN TENSION.

ASTM D 573. Standard Test Methods for Rubber DETERORATION BY HEAT AND AIR
 PRESSURE.

ASTM D 624-81. Standard Test Methods for Rubber PROPERTIES-TEAR REAR
 RESISTANCE

ASTM D 2240-81. Standard Test Methods for Rubber PROPERTIES-DUROMETER
 HARDNESS.

Blackley, D.C. 1997. “Heat –sensitization of lactice by zinc-ammine ions”, POLYMER
 LACTICES Vol. 1 Fundamental principles, 306-309.

Gorton, A.D.T. and Pandle,T.D.1980. “Developments in the heat-sensitization of natural
 rubber latex mixes” NR technology. Vol. 11(1).

(<http://www.hukseflux.com/thermal%20conductivity/thermal.ht>)