

## 1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นไม้หรือน้ำยาง โดยผลิตภัณฑ์น้ำยางเริ่มมีผลกระทบต่อการบริโภคยางของโลกอย่างจริงจัง เมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว ในปี พ.ศ. 2503 มีการใช้ผลิตภัณฑ์ยางประมาณ 8% ของการบริโภคเท่านั้น จากนั้นมีการบริโภคผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มขึ้นเป็น 11% ในปี พ.ศ. 2533 และมีการบริโภคประมาณ 12% ในปี พ.ศ. 2542 แม้จะดูเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ก็ เป็นสัญญาณการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมั่นคง (Directory of Thai Rubber Industry 2001) โดยที่ผลิตภัณฑ์น้ำยางที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์โลก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่ม 66.8% , กาว 12.1% , ยางยึด 9.1% , ฟองน้ำ 6.9% , และพรม 5.1% ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำยางมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง

โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มนี้จะทำให้ได้ฟิล์มยางที่เรียบสม่ำเสมอ สามารถได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งแบบหนาและแบบบาง สำหรับวิธีการจุ่มที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หนามากๆ นิยมใช้การจุ่มที่มีสารไวต่อความร้อน (Heat sensitive dipping) เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่รวดเร็วกว่าการใช้สารช่วยจับตัว (Coagulant) และสามารถทำผลิตภัณฑ์ได้ภายในขั้นตอนเดียวก็จะทำให้ได้ผิวที่มีลักษณะค่อนข้างหนา ซึ่งจากการใช้วิธีนี้จำเป็นต้องมีสารเคมีที่ทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวเมื่อถูกความร้อน (Heat sensitizing agent) เช่น Polyvinyl methyl ether (PVME), Polypropylene glycol (PPG) และเกลือแอมโมเนียร่วมกับซิงค์ออกไซด์ (zinc amine complex) โดยที่สารแต่ละตัวนี้มีประสิทธิภาพแตกต่างกันและพบว่า PVME มีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีการศึกษาวิจัยในสารนี้กันมากพอสมควร ขณะที่ข้อมูลเกี่ยวกับระบบ zinc amine complex ยังไม่แพร่หลายมากนัก (Gorton and Pendle, 1980) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้เกลือแอมโมเนียร่วมกับซิงค์ออกไซด์ เป็นสารที่ทำให้น้ำยางเสียความคงตัวเมื่อสัมผัสความร้อน ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่ใช้กันในสมัยก่อนแต่ปัจจุบันไม่นิยมนำมาใช้เนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้ไม่ค่อยดีนัก ประกอบกับสารที่ใช้ในระบบนี้เป็นสารที่หาได้ง่ายกว่า PVME จึงได้วิจัยเพื่อพัฒนาระบบนี้ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ PVME โดยทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาว โดยที่งานวิจัยนี้เลือกศึกษา Calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), China clay และ Silica ซึ่งสารตัวเติมทั้งสองชนิดคือ Calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) และ China clay เป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางเนื่องจากมีราคาถูกที่สุด นอกจากนี้ได้ศึกษาผลต่อสมบัติทางกายภาพและความทนทานต่อการฉีกขาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้ระบบ zinc amine complex นี้

## 2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีผลต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์ และปัจจัยที่มีผลต่อความหนา ที 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 ศึกษาการเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์แบบไวต่อความร้อนโดยเป็นการใช้กระบวนการที่ง่ายๆ และวัสดุที่ใช้ราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย

3.1.3 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณ  $ZnO$  และ  $NH_4Cl$  ที่เติมลงไปในน้ำยางคอมพอนด์

3.1.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา สี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง 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) ที่เติมลงไปในน้ำยางว่ามีผลอย่างไรต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารตัวเติม

#### 3.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

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

เสถียรขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งบ่งถึงความสามารถในการดูดซับของอนุภาคของยางธรรมชาติซึ่งสามารถเลือกตัวที่มีความเสถียรในการเก็บที่ดีที่สุดได้

จุฑารัตน์(2545) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรและความหนาของน้ำยางคอมพอนด์โดยการจุ่มในระบบสูญเสียวความเสถียรด้วยความร้อนเพื่อใช้ในการผลิตสายสวนปัสสาวะ พบว่าความหนาของยางเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่า pH ของน้ำยางคอมพอนด์ ลดปริมาณสารเพิ่มความเสถียร เพิ่มเวลาและอุณหภูมิของแบบจุ่ม เพิ่มปริมาณสารไวต่อความร้อน เพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ และเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำยางคอมพอนด์ นอกจากนี้พบว่าการใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิดไม่มีประจุในกลุ่ม Ethoxylate tridecyl alcohol (RODASURE-BC-840) สามารถรักษาความเสถียรของน้ำยางได้ดีกว่า Alkoxyethyl gatty alcohol (Atlas G-5774) และ Nonylphenol ethoxylate(Berol 09) ตามลำดับขั้นตอนการผลิตสายสวนปัสสาวะกระทำโดยการนำเข้าพิมพ์เข้าอบให้ความร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 100°C แล้วทำการจุ่มลงในน้ำยางคอมพอนด์แบบไวต่อความร้อนโดยใช้ความเร็วในการจุ่มประมาณ 360cm/min และเวลาในการจุ่ม 3 วินาที ทำให้งามีความหนา 1.5 มิลลิเมตร และวัดคาโนซ์ ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

บุญธรรมและคณะ(2532) จากรายงานเรื่องการวัดคาโนซ์ของน้ำยางที่ใช้กัมมะถันเป็นตัวเชื่อมเพื่อทำสายน้ำเกลือ ได้ศึกษาการทำงานของ Heat Sensitive Compound โดยวิธีการจุ่มโดยใช้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียค้ำ และใช้ PVME เป็นสารไวความร้อน ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวลดระดับ pH ของน้ำยางคอมพอนด์ใช้สารรักษาความเสถียรชนิดไม่มีประจุ คือ Vulcastab LW จากผลการทดลองพบว่าน้ำยางคอมพอนด์ แสดงความเป็นน้ำยางแบบไวความร้อนอย่างชัดเจนเมื่อ pH ของน้ำยางคอมพอนด์ น้อยกว่า 9.0 การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาของการจุ่มทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้นส่วนการเพิ่มซิงค์ออกไซด์ในน้ำยางคอมพอนด์ มีผลต่อความหนาเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้งามีสีขุ่นตามปริมาณที่เติม ส่วนปริมาณของแข็งในสูตรยางควรไม่ต่ำกว่า 50% เพราะจะเกิดปัญหาการลื่น

พรพรรณและรุ่งทิพย์(2535) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติทั้งก่อนและหลังวัดคาโนซ์ โดยแปรปริมาณสารตัวเติมตั้งแต่ 0 , 30 , 60 และ 100 phr พบว่าค่า plasticity , Mooney viscosity และ Torque ของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มโดยที่แคลเซียมคาร์บอเนตที่เคลือบผิวจะให้ค่าสูงกว่าเมื่อ ไม่เคลือบผิว

#### 4 วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. ทดสอบสมบัติน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง

4.2. การเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ แบบใช้สารไวต่อความร้อน (Heat sensitive compound)

โดยทำตามสูตรดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สูตรน้ำยางคอมพอนด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมพอนด์ ต่อสมบัติของน้ำยางคอมพอนด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

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 <sub>4</sub> Cl	9.33

ตารางที่ 2.3 สูตรน้ำยางคอมพอนด์พื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยเมื่อมีสารตัวเติม

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 <sub>3</sub>	Vary(10,20,30)	-
30%China clay	Vary(10,20)	-
15%Silica	Vary(10, 20, 30)	-
50%ZnO	13	26
20%NH <sub>4</sub> Cl	9.33	46.65

#### 4.3 ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมพอนด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการทำงานของการจุ่มแบบใช้สารไวต่อความร้อน โดยใช้ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง เพื่อให้ปริมาณแอมโมเนียสูงเล็กน้อย นำมาผสมสารเคมีตาม ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. วัด pH ของ ZnO ที่ใช้ในการผสม
  2. ชั่งน้ำยางและสารเคมีตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้เรียบร้อยแล้ว
  3. นำน้ำยางชั้นที่ผ่านการกรองมาควนเป็นเวลา 5 นาที
  4. ใส่สารเพิ่มความเสถียร (Teric) ลงในน้ำยางควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
  5. ใส่สารป้องกันการเสื่อม (Wingstay -L) ควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
  6. ใส่สารตัววัลคาไนซ์ (ZDEC, Sulphur) ลงไปในน้ำยางที่ละตัว และควนให้เข้ากันเป็นเวลา ประมาณ 5 นาที
  7. ใส่ซิงค์ออกไซด์ 1phr ลงไปในน้ำยางก่อน เพื่อช่วยกระตุ้นการวัลคาไนซ์ของน้ำยาง ควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
  8. บ่มน้ำยางที่อุณหภูมิห้องโดยการควนอย่างช้าๆ (ความเร็วในการควน 40 รอบ/นาทิจนให้ฟองอากาศเล็กๆ ที่ปนอยู่ในน้ำยางลอยมาสู่ด้านบน ระยะเวลาการบ่มขึ้นอยู่กับระดับ Chloroform number
  9. ทดสอบ Chloroform test ของน้ำยางคอมพอนด์ให้ได้ระดับ 2-3
  10. กรองน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วผ่านตะแกรงกรอง โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ
  11. ใส่ซิงค์ออกไซด์ที่เหลือทั้งหมดลงไปในน้ำยาง ควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
  12. ใส่แอมโมเนียมคลอไรด์ลงไปในน้ำยาง ควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 3 นาที
  13. ปรับค่า pH ของ ZnO ให้ได้ประมาณ 10.05 จากนั้นนำน้ำยางนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 15-20°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที
  14. นำน้ำยางคอมพอนด์ไปทดสอบค่าความหนืด (โดยใช้สปินเดิลเบอร์ 4 ความเร็ว 20รอบ/ นาที) และวัดค่า pH ก่อนแล้วจึงนำไปจุ่มแบบพิมพ์ต่อไป
  15. หลังจากจุ่มแล้วนำยางไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วนำมาวัดความหนาของยางที่ได้
- หมายเหตุ ถ้ามีสารตัวเติม (CaCO<sub>3</sub>, China clay, Silica) ในสูตรน้ำยางคอมพอนด์ ให้เติมหลังจากเติมกำมะถันแล้วแล้วควนให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที แล้วจึงเติมซิงค์ออกไซด์

## 5 ผดและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ศึกษาการเตรียมน้ำยางคอมเปาน์ดที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์แบบไวค่อความร้อน โดยน้ำยางที่ใช้ในการวิจัยมีสมบัติดังตารางที่ 2.4

เนื่องจากค่า pH ของซิงค์ออกไซด์มีผลต่อปริมาณในการใช้ และขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมเปาน์ด แบบไวความร้อน ในที่นี้จะทำการควบคุมปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 และนำน้ำยางที่เตรียมได้ไปทำการจุ่ม โดยใช้เวลาในการจุ่มเท่ากับ 50 วินาที จากตารางที่ 2.5 พบว่าถ้า pH ของซิงค์ ออกไซด์มีค่าน้อย ความเสถียรของน้ำยางก็จะต่ำ จึงทำให้ต้องแช่น้ำเย็นทันทีเพื่อช่วยรักษาความเสถียรของน้ำยาง และส่งผลให้ pH ของน้ำยางคอมเปาน์ดต่ำด้วย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ของซิงค์ออกไซด์มีค่ามากขึ้น (10.05) ความเสถียรของน้ำยางก็จะสูง จึงทำให้สามารถตั้งน้ำยางคอมเปาว์ดไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ต้องแช่เย็น โดยที่น้ำยางไม่สูญเสียสภาพ นอกจากนี้เมื่อ pH ของ ZnO เพิ่มขึ้นส่งผลให้ pH ของน้ำยางคอมเปาน์ดเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความหนาที่ได้จากการจุ่มน้อยลง และจากตารางพบว่าถ้า pH ของ ZnO มีค่าน้อย ปริมาณการใช้ ZnO จะน้อยกว่าที่ pH ของ ZnO ที่มีค่ามากที่อุณหภูมิ น้ำยางคอมเปาน์ดเดียวกัน ( $20^\circ\text{C}$ )

ตารางที่ 2.4 สมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้ในการวิจัย

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 $\text{NH}_4\text{Cl}$	pH ของ น้ำยาง	ความหนาของ ยาง (มม.)
12	9.22	แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ $20^\circ\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 60 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิ $20^\circ\text{C}$ แล้วนำไปใช้จุ่ม	7.40	2.70
ปริมาณ ZnO (phr)	pH ของ ZnO	ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางเมื่อเติม $\text{NH}_4\text{Cl}$	pH ของ น้ำยาง	ความหนาของ ยาง (มม.)
13	10.05	ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาทีแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ $20^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิ $20^\circ\text{C}$ แล้วนำไปใช้จุ่ม	7.61	2.20
15	9.98	แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ $18^\circ\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 60 นาที แล้วควบคุมอุณหภูมิ $18^\circ\text{C}$ แล้วนำไปใช้จุ่ม	7.50	2.10

## 5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนา

### 5.2.1 ผลของระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของน้ำยางคอมพอนด์แบบใช้สารไวต่อความร้อน

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

ได้เนื่องจากระดับการวัดคาบไอนซ์ยังอยู่ในระดับปานกลางคือมีค่า Chloroform number อยู่ประมาณ 2 ส่งผลให้ความเสถียรของน้ำยางคอมพอนันด์ มีค่าสูง

ตารางที่ 2.6 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางต่อระดับการวัดคาบไอนซ์และความหนืด ของน้ำยางคอมพอนันด์

ระยะเวลา การบ่ม (ชั่วโมง)	Chloroform number				ความหนืด(cps)			
	ไม่มี สารตัว เติม	มี 50%CaCO <sub>3</sub> 20 phr	มี 30%China clay 20phr	มี15% Silica 20 phr	ไม่มี สารตัว เติม	มี 50%CaCO <sub>3</sub> 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 เนื่องจากอุณหภูมิกวร้อนจากแบบจุ่มที่แพร่ไปยังน้ำยางมากขึ้น 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

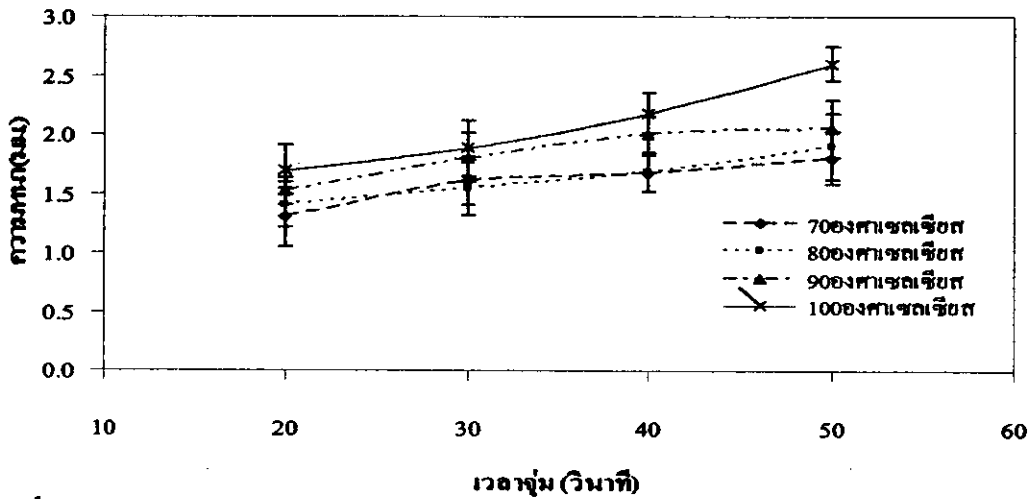


มากกว่าแบบจุ่มแก้ว และเมื่อพิจารณาความต่างของความหนาของแบบจุ่มทั้งสอง พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นความหนาของแบบจุ่มทั้งสองก็จะต่างกันมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากแบบจุ่มแก้วมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแบบจุ่มเซรามิกส์ ดังนั้นทำให้เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นความร้อนจากแบบจุ่มแก้วจะถ่ายเทความร้อนไปสู่ตัวอย่างได้ต่ำลง ส่งผลให้ความหนาไม่เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

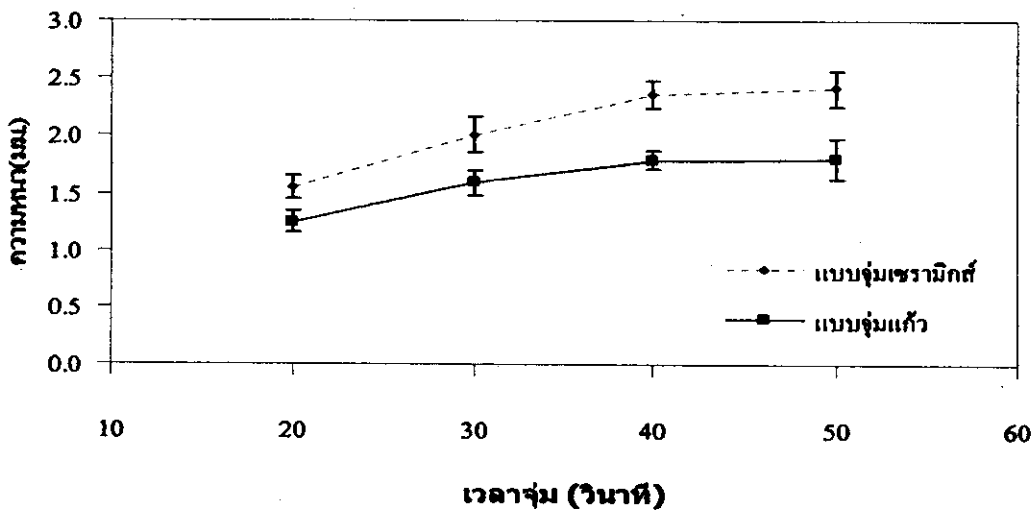
หมายเหตุ ค่าการนำความร้อนของแก้ว ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ  $0.93 \text{ w/mk}$

ค่าการนำความร้อนของเซรามิกส์ ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ  $1.06 \text{ w/mk}$

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



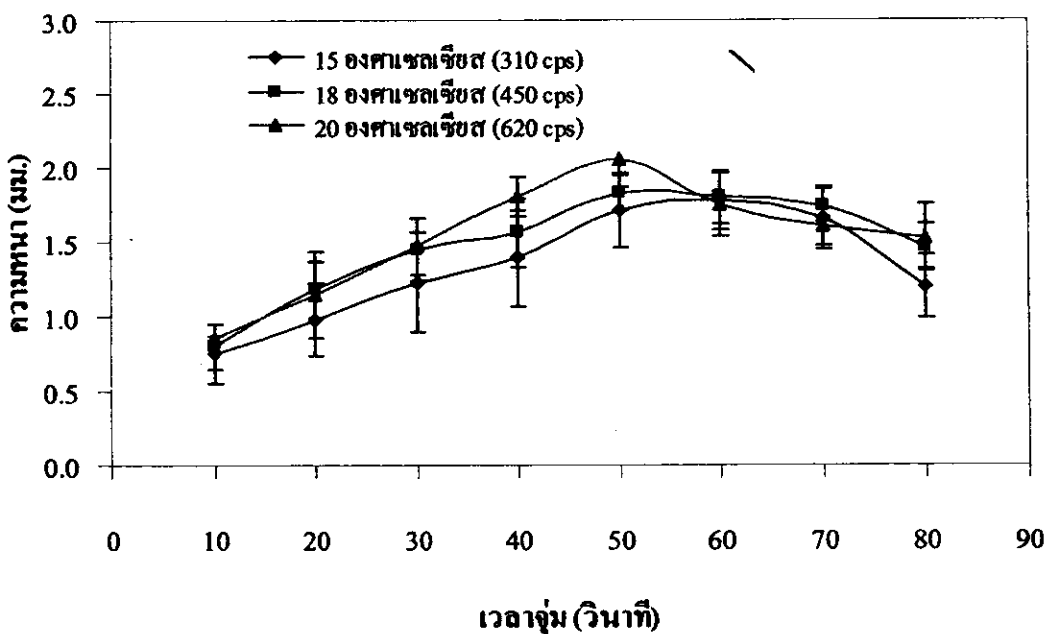
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง กำหนด  $\text{ZnO:NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 15:9.33 phr



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

### 5.2.4 ผลของเวลาจุ่มและอุณหภูมิน้ำยางคอมเปานด์ต่อความหนาของยาง

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.3 ทำให้เลือกใช้แบบจุ่มเซรามิกส์ในการจุ่มมาทำการทดสอบผลของเวลาการจุ่มและอุณหภูมิน้ำยางคอมเปานด์ ต่อการหนาของยาง โดยควบคุมอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ  $100^{\circ}\text{C}$  จุ่มลงในน้ำยางคอมเปานด์ ที่แปรอุณหภูมิเท่ากับ 15, 18, 20,  $22^{\circ}\text{C}$  ที่ใช้เวลาในการจุ่มเท่ากับ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 วินาที ผลจากรูปที่ 2.3 พบว่าเมื่อเวลาแบบจุ่มเพิ่มขึ้น ความหนาของยางจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่งความหนาจะเริ่มค่อยๆ ลดลง โดยเฉพาะหลังจากเวลา 60 วินาที ในทุกๆ อุณหภูมิของน้ำยางคอมเปานด์ จึงทำให้สามารถทราบถึงเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการจุ่มได้ นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำยางเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความหนืดของน้ำยางคอมเปานด์เพิ่มขึ้น ความเสถียรของน้ำยางลดลง ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น และสำหรับที่อุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  คังนั้นน้ำยางคอมเปานด์ ควรมีอุณหภูมิเท่ากับ  $20^{\circ}\text{C}$  จึงจะเหมาะสมที่สุดและจากรูปพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการจุ่มเวลาประมาณ 50 วินาที



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

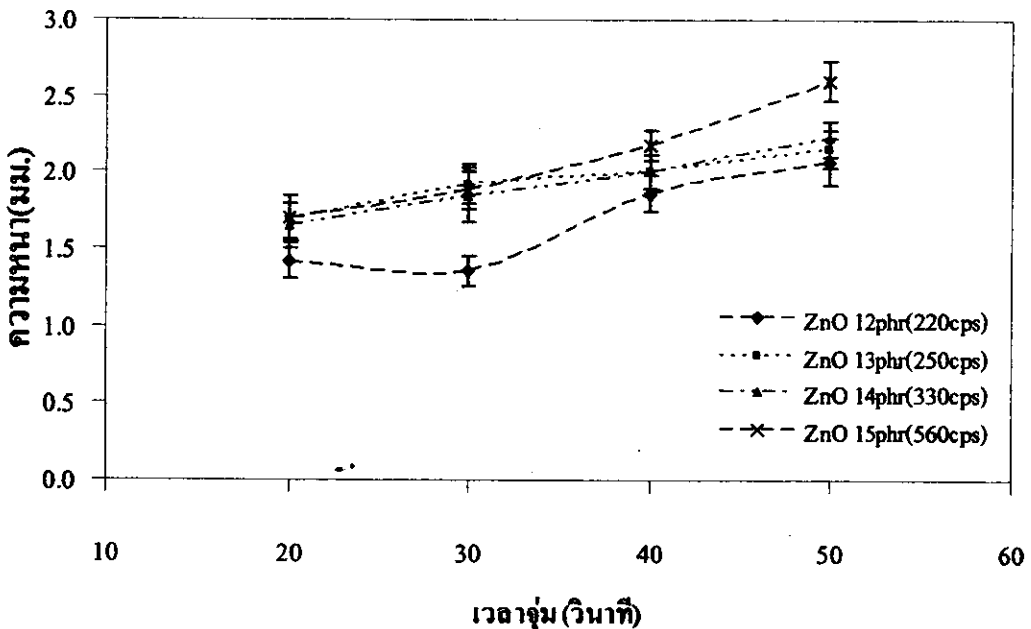
### 5.2.5 ผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อความหนืดของน้ำยางและความหนาของน้ำยาง

เตรียมน้ำยางคอมเปานด์ตามสูตรในตาราง 2.3 โดยแปรปริมาณซิงค์ออกไซด์เท่ากับ 12, 13, 14 และ 15 phr แล้วนำมาวัดค่าความหนืดของน้ำยางคอมเปานด์ที่ได้ แล้วนำแบบจุ่มที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ  $100^{\circ}\text{C}$  จุ่มลงไปน้ำยางที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วินาที คังแสดงผลในตารางที่ 2.7 และรูปที่ 2.4 ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์

เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่มีซิงค์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำยางมี  $Zn^{2+}$  มากขึ้นและ Zinc amine ion ก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย 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 ผลของปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อความหนืดของน้ำยางและความหนาของน้ำ

ยาง

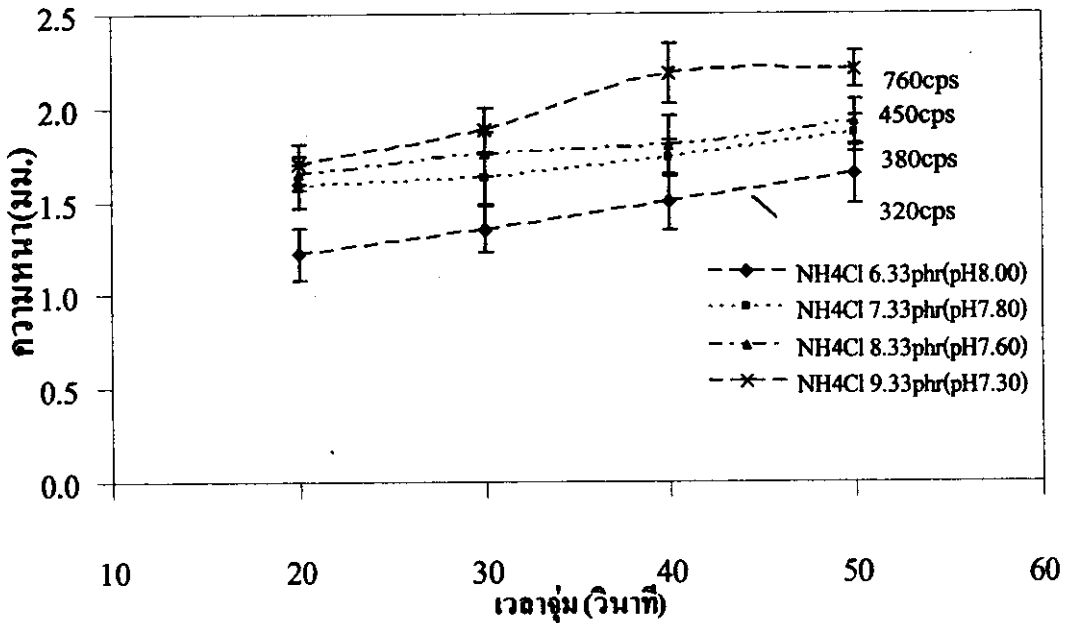
โดยเตรียมน้ำยางคอมปานด์ตามสูตรในตารางที่ 2.2 โดยแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากับ 6.33, 7.33, 8.33 และ 9.33 phr จากผลการทดลองในตารางที่ 2.8 และรูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เพิ่มขึ้นจาก 6.33 phr เป็น 7.33 phr จะทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่เมื่อปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เพิ่มขึ้นจาก 8.33 phr เป็น 9.33 phr ความหนาของยางจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในทุกๆระยะเวลาการจุ่มและจากการที่ความหนาใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เพิ่มขึ้นจาก 8.33 เป็น 9.33 phr เนื่องจาก  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ที่เติมลงไปนั้นน้ำยางอยู่ในรูป สารละลาย 20% จึงให้เมื่อปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  มากขึ้นปริมาณน้ำก็มากขึ้นเช่นเดียวกันส่งผลให้ความหนาของยางไม่เพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าเมื่อใส่ปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เพิ่มมากขึ้นอีกก็ไม่ส่งผลให้ความหนาของยางเพิ่มมากขึ้นได้ และถ้าปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่า 10.33 phr น้ำยางก็จะสูญเสียสภาพ แต่ที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก pH ที่ต่ำลง และจากการที่เติม  $\text{NH}_4\text{Cl}$  มากขึ้นทำให้ความหนาเพิ่มขึ้นเนื่องจาก  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ที่เติมลงไปนั้นจะทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนลดลง และเมื่อเข้าระบบสมดุลความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ Zinc ammine ion เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้น้ำยางเกิดการเจลได้มากขึ้นเมื่อส่วนของเกลือของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ละลายเพิ่มมากขึ้น ก็คือความหนาของยางก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และการที่เติมปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางคอมปานด์ ลดลง และความหนืดของน้ำยางคอมปานด์เพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เองเมื่อเติมลงไปน้ำยางจะทำให้อยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งการที่  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ละลายน้ำได้จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำทำให้ได้  $\text{HCl}$  ออกมาด้วยทำให้  $\text{NH}_4\text{Cl}$  มีสภาพเป็นกรดและเมื่อเติมลงไปนั้นน้ำยางคอมปานด์ทำให้น้ำยางมีสภาพเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น และจากการที่ pH มีค่าลดต่ำลงจึงทำให้ความหนืดของยางเพิ่มสูง และผลของความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้น และจากการทดลองนี้จึงทำให้เลือกใช้  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr เนื่องจากจะทำให้ได้ความหนืดตามต้องการและความหนืดมากด้วย

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 โดยความหนืดของน้ำยางคอมปานด์ เพื่อให้ได้ความหนืดตามต้องการคืออยู่ในช่วงประมาณ 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

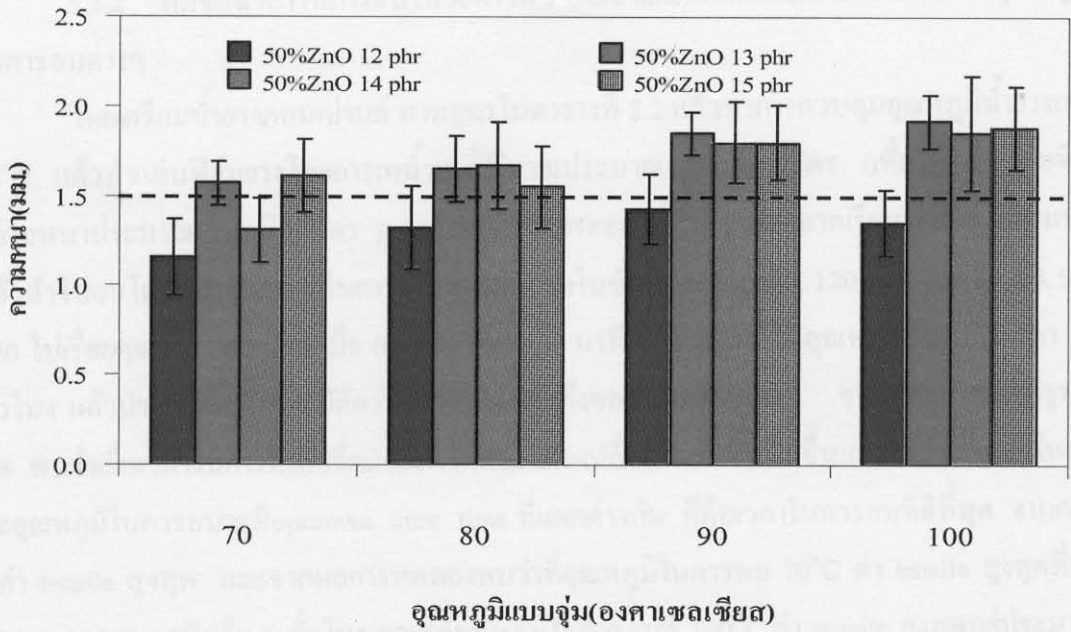
หมายเหตุ เมื่อปริมาณ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่า 10.33 phr น้ำยางก็จะสูญเสียสภาพ



รูปที่ 2.5 ความหนาของยางและความหนืด เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ กำหนด ZnO เท่ากับ 15 phr

ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง (มม.) เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที

อุณหภูมิแบบจุ่ม (องศาเซลเซียส)	ความหนาของยาง(มม.)เมื่อแปรปริมาณ ZnO ที่เวลาจุ่ม 30วินาที			
	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

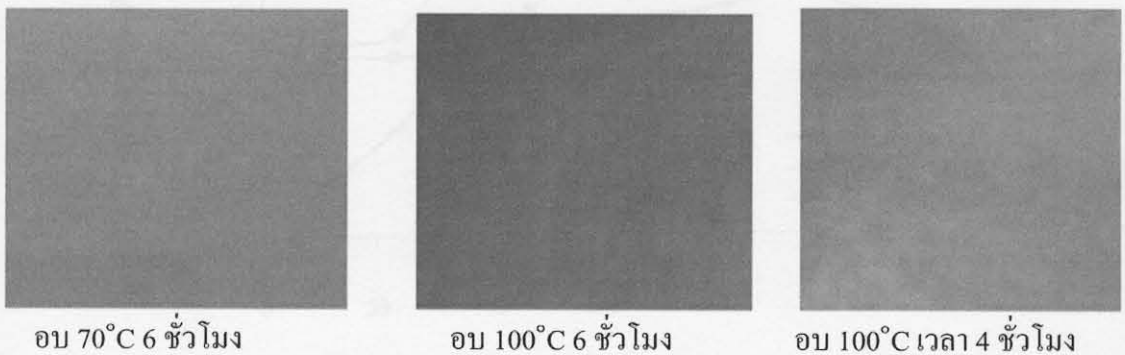


รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบจุ่มกับความหนาของยาง(mm.)เมื่อแปรปริมาณ ZnO และควบคุม  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr ที่เวลาจุ่ม 30 วินาที

### 5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสี สมบัติทางกายภาพ และความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง

#### 5.3.1 ผลของอุณหภูมิในการอบเพื่อให้ยางคงรูปต่อสีของยาง

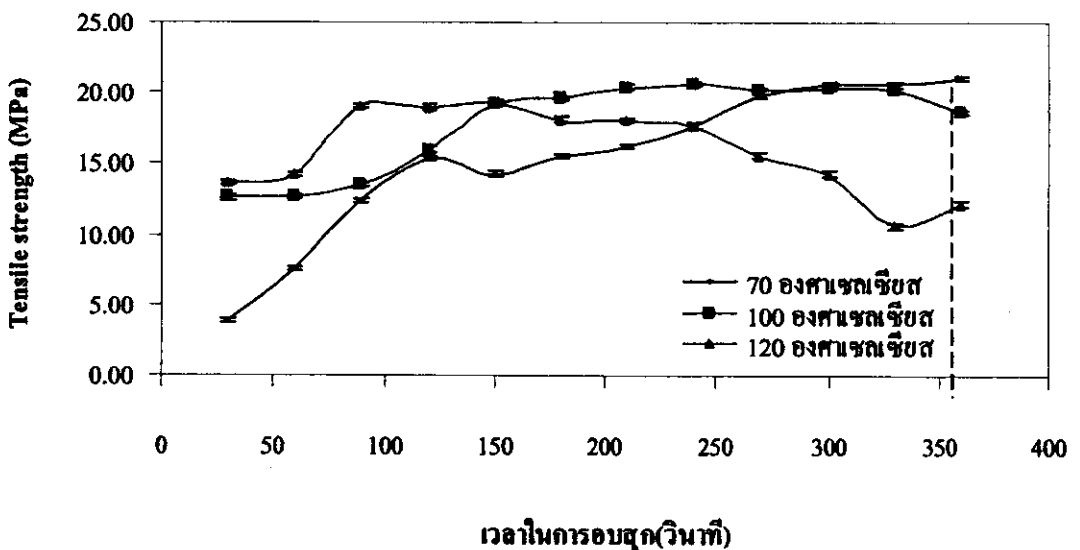
โดยเตรียมน้ำยางคอมพอนด์ ตามสูตรในตารางที่ 2.2 และทำการควบคุมอุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ  $100^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิน้ำยางคอมพอนด์เท่ากับ  $20^{\circ}\text{C}$  ทำการแปรอุณหภูมิในการอบเพื่อให้ยางคงรูปเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 และ 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองในรูปที่ 2.7 พบว่าถ้าอุณหภูมิในการอบให้ยางคงรูปสูงจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มกว่าการใช้อุณหภูมิในการอบต่ำ เป็นสาเหตุให้ถ้าต้องการให้สีของขาวก็ควรใช้อุณหภูมิในการอบ  $70^{\circ}\text{C}$



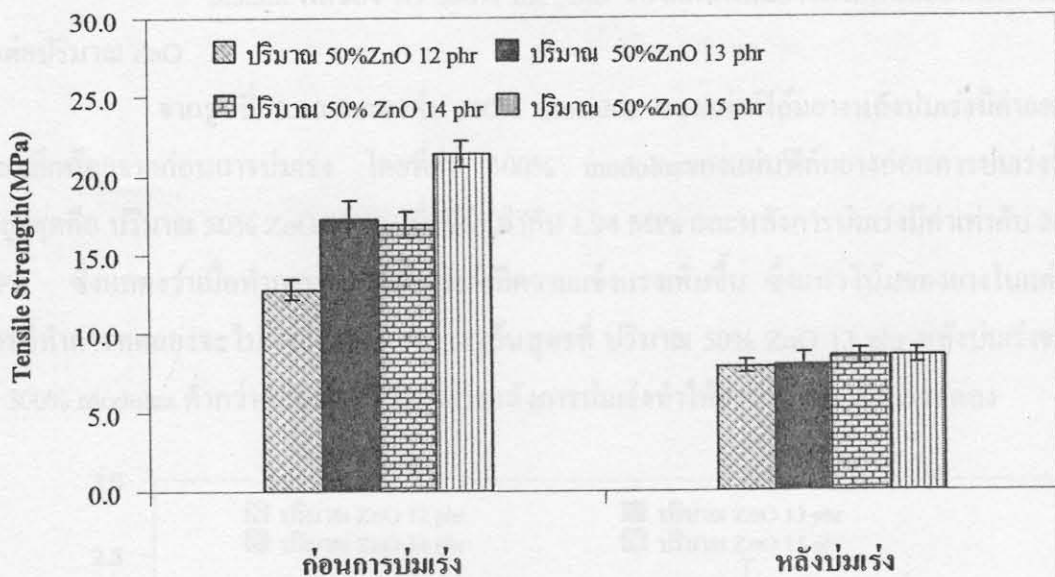
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอบต่อสีของยางที่กำหนด  $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 15:9.33 phr

### 5.3.2 ผลของเวลาในการอบให้วัลคาไนซ์ (cure time) ต่อความต้านทานแรงดึงที่อุณหภูมิในการอบต่างๆ

โดยเตรียมตัวอย่างคอมเปานด์ ตามสูตรในตารางที่ 2.2 แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่  $20^{\circ}\text{C}$  แล้วทำแผ่นฟิล์มยางโดยการเทตัวอย่างปริมาณประมาณ 50 มิลลิลิตร (เพื่อให้แผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิลิตร) ลงไปบนแผ่นกระจก ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วและแห้งแล้วนำไปอบโดยแปรอุณหภูมิในการอบเพื่อให้วัลคาไนซ์เท่ากับ 70, 100, 120 เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 ไปเรื่อยๆจนถึง 360 นาที เมื่อครบเวลาทุกๆ 30 นาที จึงนำมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง จากผลการทดลองรูปที่ 2.8 พบว่าเมื่อเวลาในการอบเปลี่ยนจะทำให้ค่า tensile เปลี่ยน โดยมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง และในแต่ละอุณหภูมิในการอบจะมี optimum cure time ที่แตกต่างกัน ก็คือเวลาในการอบที่ดีที่สุด จากกราฟมีค่า tensile สูงสุด และจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิในการอบ  $70^{\circ}\text{C}$  ค่า tensile สูงสุดที่อยู่ประมาณ 360 นาทีหรือ 6 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิในการอบที่  $100^{\circ}\text{C}$  ค่า tensile สูงสุดอยู่ประมาณ 240 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิในการอบที่ประมาณ 150 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมงครึ่ง จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิในการอบวัลคาไนซ์ลดลงเวลาที่ใช้ในการอบจะมากขึ้น และเมื่อค่า tensile strength พบว่าถ้าอุณหภูมิในการอบต่ำจะทำให้ค่า tensile strength ที่เวลาการสุกของยางมากกว่าที่อุณหภูมิการอบสูง อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการ cross-link ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ค่า tensile strength ต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่ดี ก็ควรเลือกอุณหภูมิในการอบต่ำ ( $70^{\circ}\text{C}$ ) เนื่องจากจะทำให้ได้ค่า tensile strength ที่สูงและสีของยางที่ได้ก็จะสวยด้วย



รูปที่ 2.8 ผลระยะเวลาในการอบต่อความต้านทานต่อแรงดึงที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ กำหนด ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 15:9.33 phr



รูปที่ 2.9 ค่า tensile strength ของแผ่นฟิล์มทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง ต่อปริมาณ ZnO กำหนด  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr (อบที่  $100^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง)

### 5.3.3 ผลของสมบัติยางวัลคาไนซ์ของฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม

โดยการเตรียมน้ำยางคอมเปานด์ตามสูตรในตารางที่ 2.2 (ปริมาณ ZnO 12, 13, 14 และ 15 ตามลำดับ) แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำยาง เท่ากับ  $20^\circ\text{C}$  แล้วทำแผ่นฟิล์มยางโดยการทำการเทน้ำยางเป็นปริมาณ 50 มิลลิลิตร (เพื่อให้แผ่นยางมีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิลิตร) ลงไปบนแผ่นกระจกที่ทำความสะอาดแล้วและแห้ง แล้วนำเข้าไปอบเพื่อให้ยางคงรูป ที่อุณหภูมิเท่ากับ  $100^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงจะนำไปหาสมบัติต่างๆเป็นสมบัติหลังการบ่มแรงต่อไป

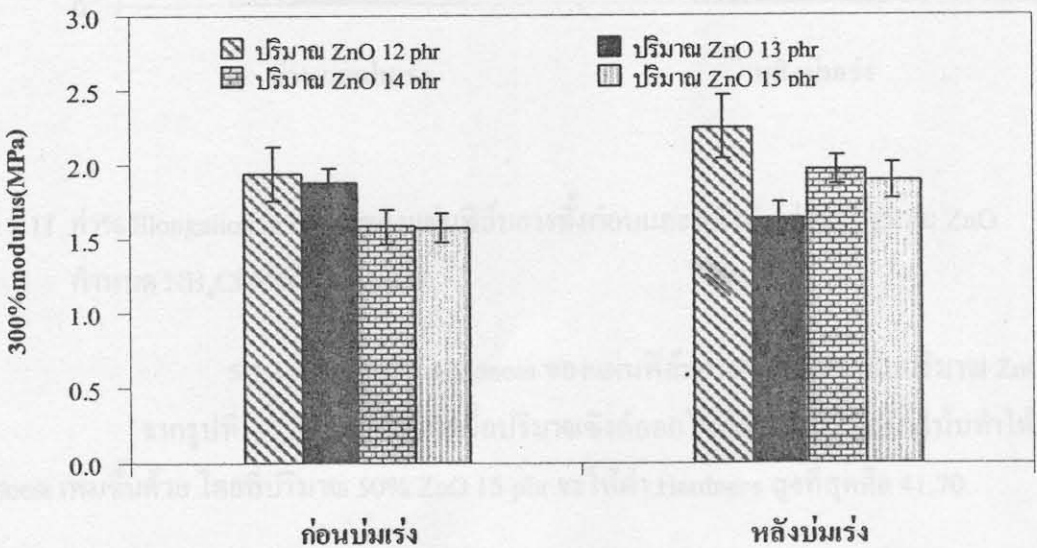
5.3.3.1 ผล tensile strength ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรง ที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม

จากรูปที่ 2.9 แสดงค่า tensile strength ของแผ่นฟิล์มยางจะมีค่าลดลงเมื่อนำแผ่นฟิล์มยางไปบ่มแรงที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากยางที่ถูกบ่มแรงด้วยอุณหภูมิด้วยความร้อนสูงคือ  $100^\circ\text{C}$  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

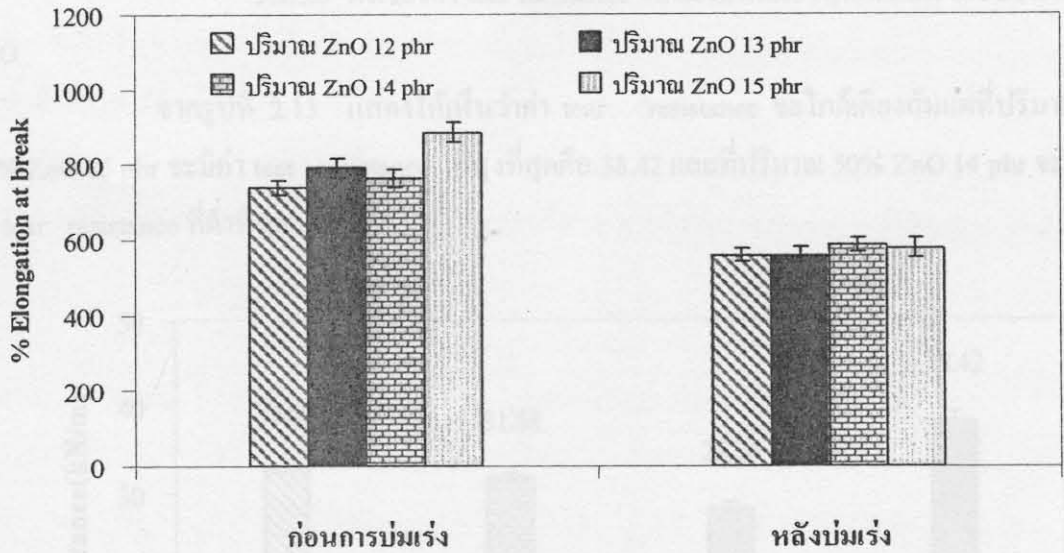
จากรูปที่ 2.10 แสดงค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางหลังบ่มแรงมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจากก่อนการบ่มแรง โดยที่ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางก่อนการบ่มแรงที่มีค่าสูงสุดคือ ปริมาณ 50% ZnO 12 phr ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.94 MPa และหลังการบ่มแรงมีค่าเท่ากับ 2.25 MPa ซึ่งแสดงว่าเมื่อทำการบ่มแรงทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น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



รูปที่ 2.10 ค่า 300% modulus ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr

5.3.3.3 ผลของค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO

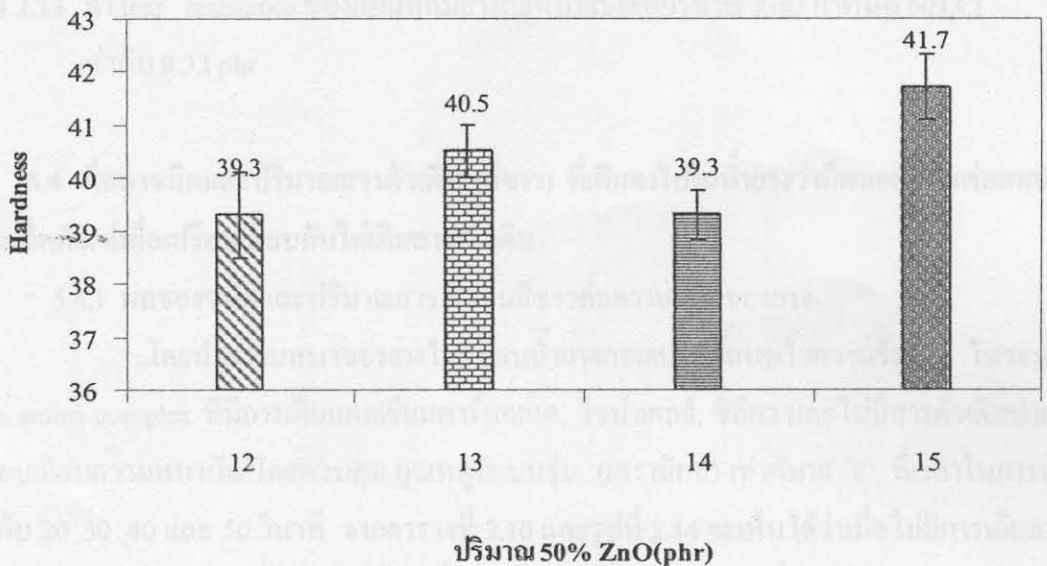
จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าค่า % elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางจะมีค่าลดลงเมื่อนำแผ่นฟิล์มยางไปบ่มแรงที่อุณหภูมิสูง โดยก่อนที่จะทำการบ่มแรง ปริมาณ 50% ZnO 15 phr จะให้ค่า% elongation at break ที่สูงที่สุดคือ 885.47 จากรูปที่ 4.13 %การเปลี่ยนแปลง elongation at break ก็มีค่าสูงสุดเช่นกันคือ 34.77% 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  $\text{NH}_4\text{Cl}$  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 41.7

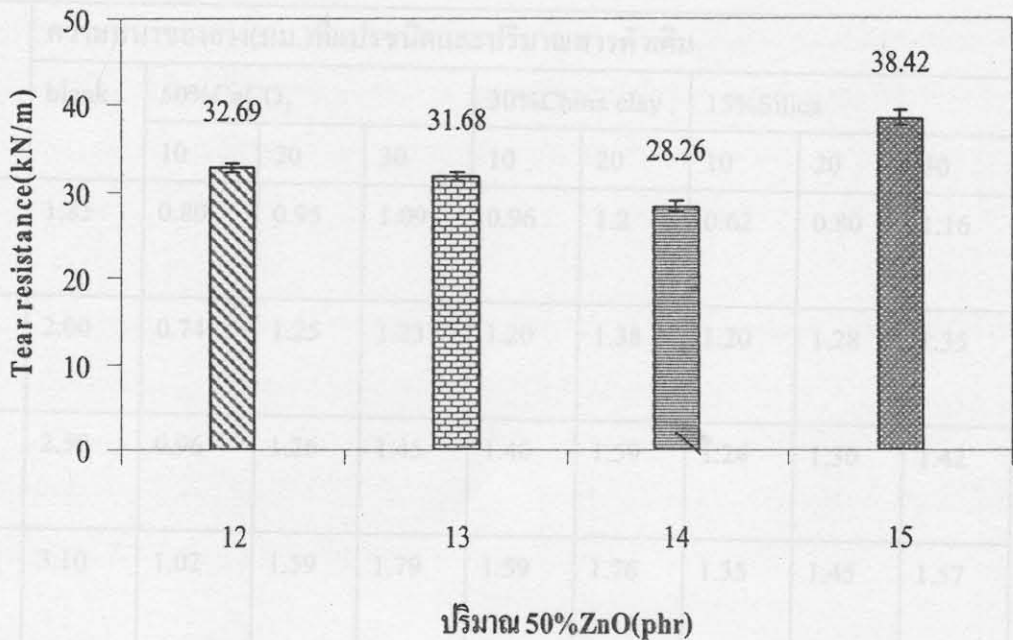


รูปที่ 2.12 ค่า Hardness ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงต่อปริมาณ ZnO กำหนด  $\text{ZnO}:\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 15:9.33 phr

### 5.3.3.5 ผลของค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ

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 ของแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มเร่งต่อปริมาณ ZnO กำหนด  $\text{NH}_4\text{Cl}$  เท่ากับ 9.33 phr

## 5.4 ศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติม (สีขาว) ที่เติมลงไปในน้ำยางว่ามีผลอย่างไรต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารตัวเติม

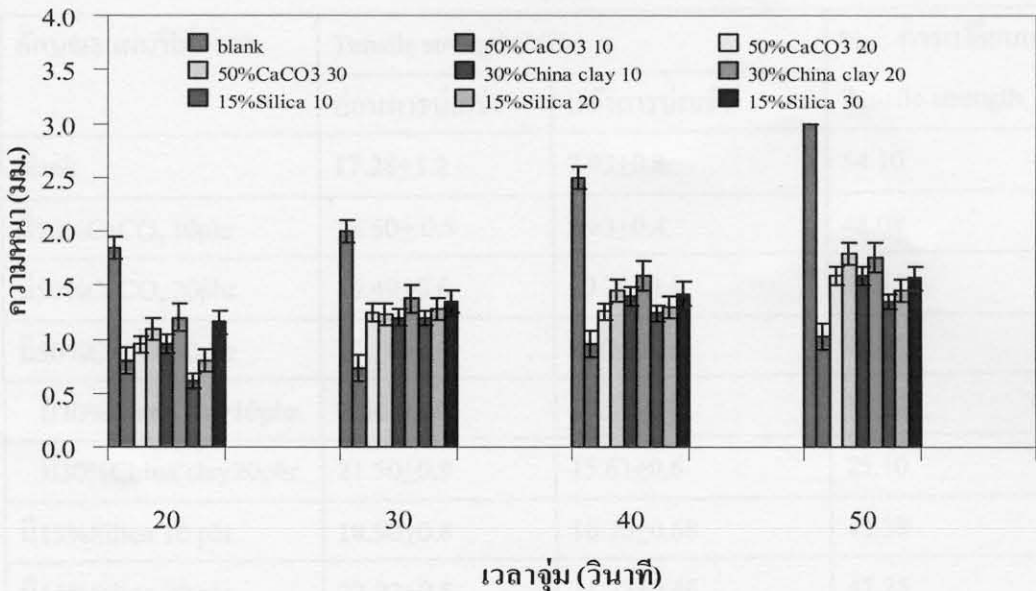
### 5.4.1 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อความหนาของยาง

โดยนำความหนาของยางในระบบน้ำยางคอมพอนด์แบบไวความร้อน ในระบบ Zinc amine complex ที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต, ไซนาเคลย์, ซิลิกา และไม่มีสารตัวเติมนำมาเปรียบเทียบความหนากัน โดยควบคุม อุณหภูมิแบบจุ่ม (เซรามิกส์) เท่ากับ  $70^\circ\text{C}$  ที่เวลาในการจุ่ม เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 วินาที จากตารางที่ 2.10 และรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการเติมสารตัวเติม จะให้ความหนาของยางมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่เติมสารตัวเติม อาจจะเนื่องจากเมื่อไม่มีสารตัวเติมปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางคอมพอนด์ จะมีมากกว่าคือมีค่าเท่ากับ 51.33% และสำหรับสารตัวเติมที่ให้ความหนามากที่สุดคือ 50%  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณ 30 phr ซึ่งมีปริมาณของแข็งของน้ำยางคอมพอนด์ 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 ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

เวลาจุ่ม (วินาที)	ความหนาของยาง(มม.)ที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติม								
	blank	50%CaCO <sub>3</sub>			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 ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

#### 5.4.2 ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวต่อสมบัติของวัสดุโพลีเอทิลีน

โดยนำแผ่นยางที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต, ไซนาเคลย์, ซิลิกาและที่ไม่มีสารตัวเติม มาเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุโพลีเอทิลีนในด้านต่างๆ

5.4.2.1 ผลความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปร ชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง (ASTM D 412-80)

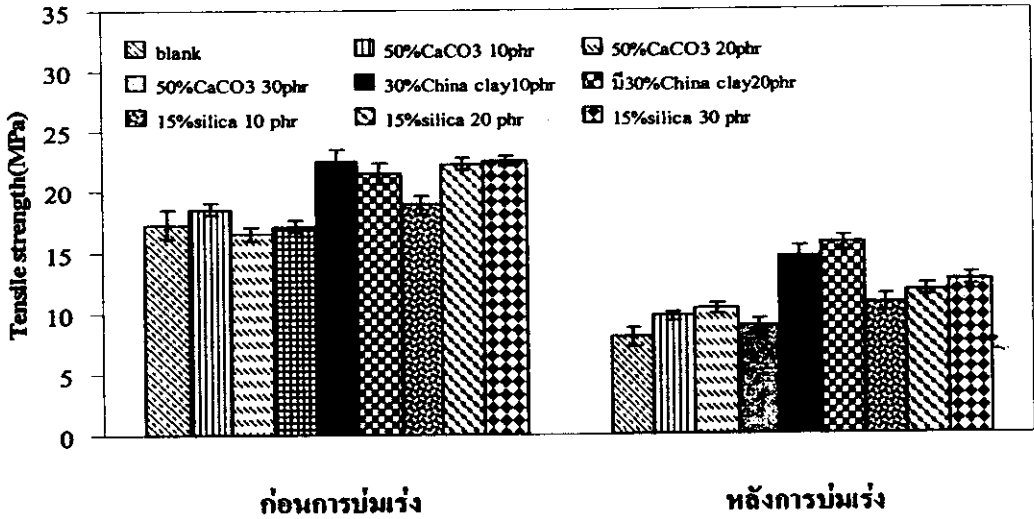
จากตารางที่ 2.11 และรูปที่ 2.15 พบว่าก่อนการบ่มแรงยางที่ให้ค่า tensile strength ที่สูงที่สุดคือ 30% Silica 30 phr ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียง 30% china clay 20 phr รองลงมาจะเป็น 30% china clay 10 phr สำหรับสารตัวเติม 50% CaCO<sub>3</sub> 20 phr จะให้ค่า tensile strength ที่ต่ำที่สุดซึ่งจะใกล้เคียงกับยางที่ไม่มีสารเติมสารตัวเติม ส่วนหลังการบ่มแรงค่า Tensile strength ของยางทุกชนิด จะมีค่าลดลงทั้งสิ้น โดยยางที่มี 30% China clay 10 phr จะให้ค่า Tensile strength หลังบ่มแรงสูงที่สุด

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

จากตารางที่ 2.12 และรูปที่ 2.16 พบว่าก่อนการบ่มแรงยางที่มีสารตัวเติม 50% CaCO<sub>3</sub>ทุกปริมาณจะให้ค่า 300% modulus ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับยางชนิดอื่นๆ แต่เมื่อเติมสารตัวเติม 15% Silica 30 phr จะให้ค่า 300% modulus ที่สูงที่สุด

ตารางที่ 2.11 ค่า tensile strength แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง กำหนด ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

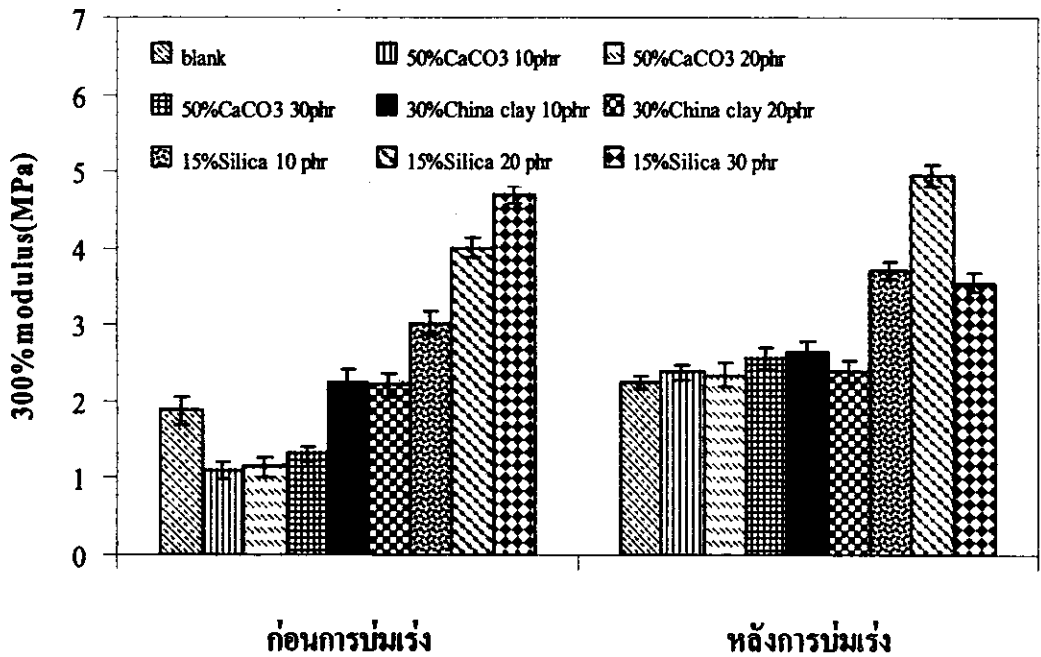
ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	Tensile strength(MPa)		% การเปลี่ยนแปลง Tensile strength
	ก่อนการบ่มแรง	หลังการบ่มแรง	
blank	17.28±1.2	7.93±0.8	54.10
มี50%CaCO <sub>3</sub> 10phr	18.50± 0.5	9.63±0.4	48.08
มี50%CaCO <sub>3</sub> 20phr	16.49±0.6	10.28±0.4	37.63
มี50%CaCO <sub>3</sub> 30phr	17.14±0.5	8.87±0.5	49.40
มี30%China clay 10phr	22.41±1.0	14.54±0.8	35.10
มี30%China clay 20phr	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:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

ตารางที่ 2.12 ค่า 300% modulus แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อน และหลัง การบ่มแรง กำหนด ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	300% modulus (MPa)	
	ก่อนการบ่มแรง	หลังการบ่มแรง
blank	1.88± 0.18	2.25±0.09
มี50%CaCO <sub>3</sub> 10phr	1.10±0.11	2.38±0.10
มี50%CaCO <sub>3</sub> 20phr	1.14±0.12	2.34±0.15
มี50%CaCO <sub>3</sub> 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 แผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง กำหนด ZnO:NH<sub>4</sub>Cl เท่ากับ 13:9.33 phr

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

จากตารางที่ 2.13 และรูปที่ 2.17 พบว่าก่อนการบ่มเร่งยางที่มี 30% China clay 10 phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่มากที่สุด รองลงมาคือ 50% CaCO<sub>3</sub> 20phr และ 30% China clay 20 phr ตามลำดับ และสำหรับ 50% CaCO<sub>3</sub> 10phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะใกล้เคียงกับ 15% Silica 30 phr ซึ่งจากกราฟสารตัวเติมซิลิกาจะให้ค่า % Elongation at break ที่ต่ำกว่ากับยางชนิดอื่นๆ และเมื่อนำไปบ่มเร่งจะพบว่าค่า % Elongation at break ลดลงทุกชนิด โดยยางที่มี 30% China clay 20 phr จะให้ค่า % Elongation at break ที่มากที่สุด และค่าที่น้อยคือ 15% Silica 30 phr

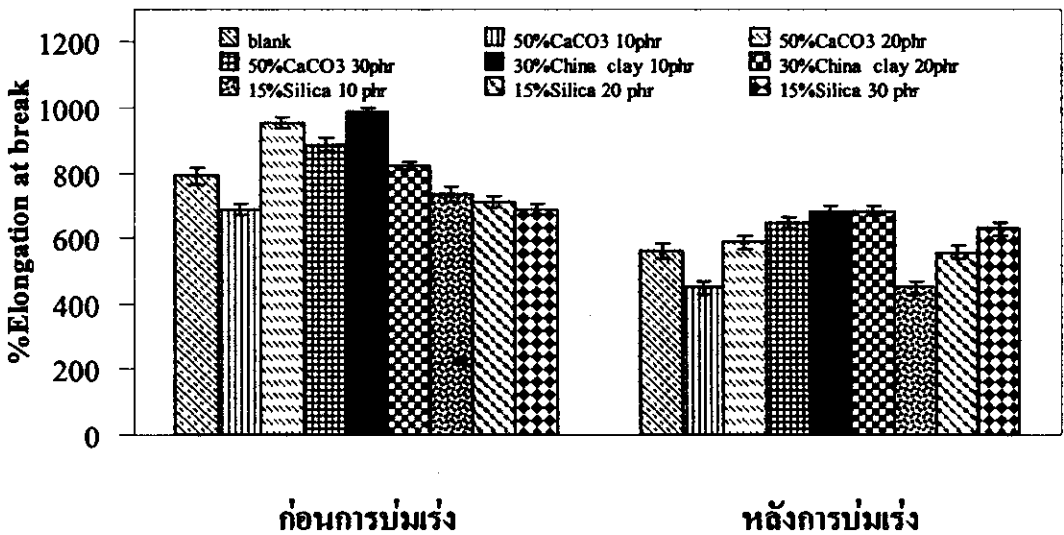
5.4.2.4 ผลของความแข็งของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง (ASTM D 2240)

จากตารางที่ 2.14 และรูปที่ 2.18 พบว่ายางที่มี 15% Silica 30 phr จะให้ค่าความแข็งที่มากที่สุด ส่วนยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมจะให้ค่าความแข็งที่น้อยกว่ายางที่มีการเติมสารตัวเติมทุกชนิด และเมื่อปริมาณสารตัวเติมมากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดเดียวกัน



ตารางที่ 2.13 ค่า% Elongation at break ของแผ่นฟิล์มยางที่แปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมทั้ง และหลังการบ่มแรง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	% Elongation at break		%การเปลี่ยนแปลง Elongation at break
	ก่อนการบ่มแรง	หลังการบ่มแรง	
blank	790.55±25	558.92±22	29.30
มี50%CaCO <sub>3</sub> 10 phr	685.5±18	448.22±20	33.10
มี50%CaCO <sub>3</sub> 20 phr	953.48±20	587.05±22	38.43
มี50%CaCO <sub>3</sub> 30 phr	886.83±18	646.73±17	27.07
มี30%Chin clay 10phr	985.16±22	680.03±20	34.02
มี30%Chin 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 หลังการบ่มแรง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

5.4.2.5 ผลของค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มแรง (ASTM D 624-81)

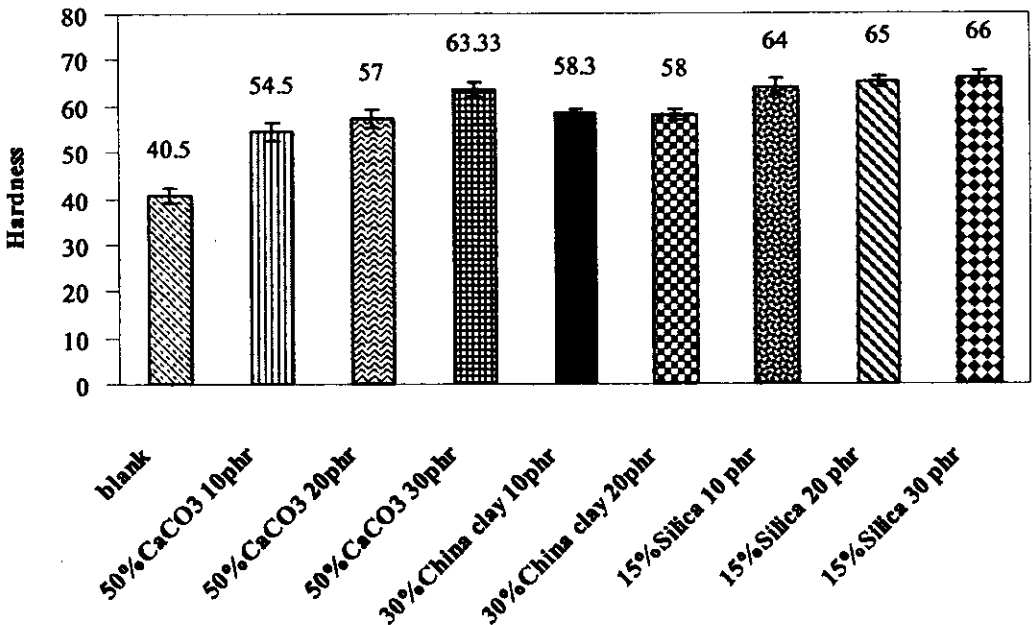
จากตารางที่ 2.15 และรูปที่ 2.19 พบว่ายางที่ 15% Silica 30 phr จะทำให้มีค่า tear resistance ที่มากที่สุด เนื่องจากในยางมีสารตัวเติมเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับยางอื่นๆจึงทำให้



สามารถทำทนต่อการฉีกขาดได้มาก ส่วนขางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมจะให้ค่า tear resistance ที่น้อยที่สุด ทำให้สามารถทนต่อการฉีกขาดได้น้อยที่สุด

ตารางที่ 2.14 ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

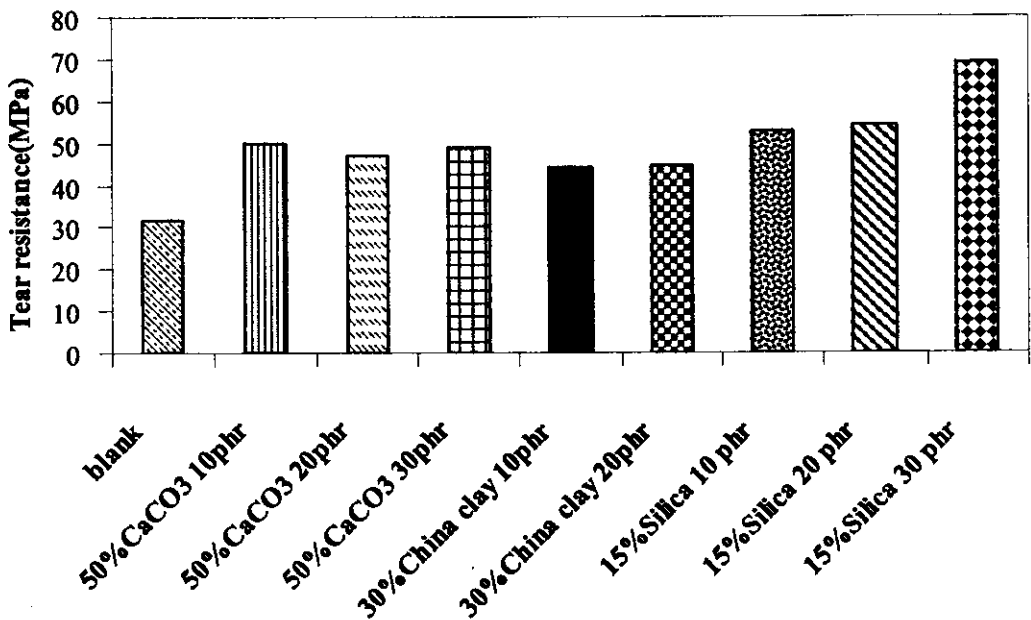
ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	Hardness ก่อนการบ่มเร่ง
blank	40.50±1.5
มี50%CaCO <sub>3</sub> 10 phr	54.50±2.0
มี50%CaCO <sub>3</sub> 20 phr	57.00±2.0
มี50%CaCO <sub>3</sub> 30 phr	63.33±1.5
มี30China clay 10 phr	58.30±1.0
มี30China clay 20 phr	58.00±1.3
มี15%Silica 10 phr	64.00±1.8
มี15%Silica 20 phr	65.00±1.1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



รูปที่ 2.18 ค่า hardness ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่มเร่ง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

ตารางที่ 2.15 ค่า tear resistance ของแผ่นฟิล์มยางเมื่อแปรชนิดและปริมาณสารตัวเติมก่อนการบ่ม  
แรง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

ลักษณะแผ่นฟิล์มยาง	tear resistance ก่อนการบ่มแรง
blank	31.68+0.50
มี50%CaCO <sub>3</sub> 10 phr	49.80+0.60
มี50%CaCO <sub>3</sub> 20 phr	46.91+0.30
มี50%CaCO <sub>3</sub> 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  
แรง กำหนด  $ZnO:NH_4Cl$  เท่ากับ 13:9.33 phr

## 6 สรุปผลการทดลอง

1. pH ของซิงค์ออกไซด์ที่ควรใช้ประมาณ 10.05, เวลาที่ใช้ในการบ่มน้ำยางคอมพอนด์ 48 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับน้ำยางที่มี และไม่มีสารตัวเติมทุกชนิด สำหรับแบบจุ่มที่ใช้ควรเป็นแบบจุ่มเซรามิกส์
2. ความหนาของยางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่ม, เพิ่มอุณหภูมิน้ำยางคอมพอนด์, เพิ่มอุณหภูมิแบบจุ่ม, เพิ่มปริมาณเกลือแอมโมเนียม, เพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ เพิ่มความเข้มข้นและปริมาณสารตัวเติม
3. ลำดับสารตัวเติม ที่สามารถให้ความหนาในช่วง 1.5-2.0 มม. เมื่ออุณหภูมิแบบจุ่มเท่ากับ 70 °C 50% ZnO 13 phr, 20%NH<sub>4</sub>Cl 9.33 phr เป็นดังนี้  
50%CaCO<sub>3</sub> 30 phr > 30%China clay 20 phr > 50%CaCO<sub>3</sub> 20 phr > 15%Silica 30 phr
4. อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมคือ 70°C เพราะเวลาที่อุณหภูมิต่างๆจะให้ยางที่มีสีสวยงาม และสมบัติความต้านทานแรงดึงก็สูงด้วย
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 สำหรับน้ำยางคอมพอนด์ที่มีการเติมสารตัวเติม เพื่อให้สามารถได้ความหนาที่สูงขึ้น