

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

#### 3.1 วัสดุ

3.1.1 น้ำยางธรรมชาติชั้น ชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Natural Rubber Latex, HA Latex) มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 60% ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) ประมาณ 61 – 62 % เก็บรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.7% ผลิตโดยบริษัทปัดตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด

3.1.2 กำมะถัน (Sulphur) เป็นกำมะถันเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ผลิตโดยบริษัท Ciech S.A. ประเทศโปแลนด์ ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) สำหรับน้ำยางธรรมชาติ ใช้ในรูปของสารดีสเพอร์ชัน (Dispersion) ที่มีความเข้มข้น 50% มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 117.0 – 119.2 องศาเซลเซียส

3.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นชนิด White Seal มีลักษณะเป็นผงสีขาว ผลิตโดยบริษัท China National Chemical Construction ประเทศจีน ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ใช้ในรูปของสารดีสเพอร์ชัน ที่มีความเข้มข้น 50% มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส

3.1.4 ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-Diethyl Dithiocarbamate, ZDEC) มีลักษณะเป็นผงสีขาวครีม ผลิตโดยบริษัท China National Chemical Construction ประเทศจีน ใช้เป็นสารตัวเร่งหลัก (Primary Accelerator) ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ใช้ในรูปของสารดีสเพอร์ชัน ที่มีความเข้มข้น 50% มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 170.0 – 186.6 องศาเซลเซียส

3.1.5 ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-Dibutyl Dithiocarbamate, ZDBC) มีลักษณะเป็นผงสีขาวครีม ผลิตโดยบริษัท China National Chemical Construction ประเทศจีน ใช้เป็นสารตัวเร่งเสริม (Secondary Accelerator) ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ใช้ในรูปของสารดีสเพอร์ชัน ที่มีความเข้มข้น 50% มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 110.0 – 112.8 องศาเซลเซียส

3.1.6 ริงสแตย์-แอล (Wingstay L) เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบ (Polymeric Hindered Phenol) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ผลิตโดยบริษัท Lowi Polymerstabilisers GmbH ประเทศเยอรมัน ใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อม (Antioxidant) ในยาง

ธรรมชาติ ใช้ในรูปของสารดีสเพอร์ชัน ที่มีความเข้มข้น 50% มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 132.0 – 136.0 องศาเซลเซียส

3.1.7 สารช่วยในการกระจายตัว (Dispersing agent) เป็นสารเคมีที่ช่วยใช้สารเคมีชนิดอื่น ที่ถูกบด กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในรูปของสารแขวนลอย ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ใช้ 2 ชนิดคือ

3.1.7.1 เบนโทไนต์เคลย์ (Bentonite Clay) เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะ เป็นผงสีเทา ผลิตโดยบริษัท Shiraiishi Calcium Kaishi Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.1.7.2 วัลทามอล (Valtamol) เป็นเกลือของ Alkylated Naphthalene Sulphonic Acid มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน ผลิตโดยบริษัท BASF ประเทศเยอรมัน

3.1.8 โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium Oleate) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เติร์ยม ได้จากการทำปฏิกิริยาของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) และโอเลอิก เอซิด (Oleic Acid) ใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียร และลดแรงตึงผิวของน้ำยางธรรมชาติ เติร์ยมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 20%

3.1.9 กรดโอเลอิก (Oleic Acid) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส ใช้ในการเติร์ยมสบู่ โพแทสเซียมโอเลเอต ผลิตโดยบริษัท E. Merk Darmstadt Co., Ltd. ประเทศเยอรมัน

3.1.10 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) มีลักษณะเป็นแผ่นบางสีขาวขุ่นขนาดเล็ก มีความบริสุทธิ์ 88.5% ผลิตโดยบริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส ใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียรในน้ำยางธรรมชาติ เติร์ยมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก

3.1.11 แคลเซียมไนเตรท (Calcium Nitrate,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวใส มีความบริสุทธิ์ 99% ผลิตโดยบริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส ใช้เป็นสารช่วยจับตัว (Coagulant) คอมเปาต์น้ำยางธรรมชาติ ใช้ในรูปสารละลายเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก

3.1.12 โทลูอีน (Toluene,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ ) มีน้ำหนักโมเลกุล 92 มีความเข้มข้น 99.5% ใช้ในการทดสอบความสมดุลของการบวมพอง (Equilibrium – Swelling Test) ผลิตโดยบริษัท LAB – SCAN Analytical Sciences Co., Ltd. ประเทศไอร์แลนด์

3.1.13 คลอโรฟอร์ม (Chloroform,  $\text{CHCl}_3$ ) มีน้ำหนักโมเลกุล 119.39 ใช้ในการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมเปาต์ (Chloroform Test Number) ผลิตโดยบริษัท BHD Co., Ltd. ประเทศอังกฤษ

## 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งได้ถูกต้องถึง 0.01 กรัม และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดถึง 620.00 กรัม รุ่น Vibra ผลิตโดยบริษัท Shiko Denshi Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 ตู้อบอากาศร้อน (Hot Air Oven) รุ่น ULM 500 มีขนาดช่องอบภายใน 58 x 40 x 50 เซนติเมตร สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุด 250 องศาเซลเซียส สามารถตั้งเวลาในการปิดได้นานถึง 24 ชั่วโมง และมีระบบพัดลมเพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน

3.2.3 แบบพิมพ์สำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่าง มีดังต่อไปนี้

3.2.3.1 แบบพิมพ์ทำด้วยเซรามิก ใช้ในการจุ่มน้ำยางเพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์ม

3.2.3.2 แบบพิมพ์ทำด้วยแก้ว มีลักษณะเป็นหลอดทดลอง (Test Tube) ขนาดเส้นรอบวง 7.7 เซนติเมตร สำหรับเตรียมชิ้นทดสอบ PRM Test และทำด้วยแผ่นแก้วเรียบ ใช้สำหรับเตรียมแผ่นฟิล์มแบบกระบวนการหล่อเป่า (Casting) มีขนาด 12 x 13.5 x 0.2 เซนติเมตร สำหรับทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

3.2.4 เครื่องบดผสม (Ball Mill) ใช้ระบบมอเตอร์ต่อกับแกนหมุน โดยวางขวดพลาสติกกลมตามแนวยาวของขดบนแกนหมุน ขวดพลาสติกมีขนาด 1 ลิตร ภายในบรรจุลูกแก้ว เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เซนติเมตร บรรจุประมาณครึ่งหนึ่งของขวด หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 50 – 65 รอบต่อนาที

3.2.5 ชุดกวนผสมสารเคมีกับน้ำยาง เป็นอุปกรณ์สำหรับการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ ประกอบด้วยมอเตอร์ที่ผลิตจากบริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Sted Fast Stirrer Model SL2400 สามารถควบคุมความเร็วในการกวนได้ 10 ระดับ ในการทดลองจะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ระดับ 1 มีความเร็วประมาณ 110 รอบต่อนาที

3.2.6 อ่างน้ำ (Water Bath) มีขนาดภายนอก 41 x 54 x 22 เซนติเมตร สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 110 องศาเซลเซียส ใช้เป็นเครื่องให้ความร้อนในการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน

3.2.7 เครื่องวัดความหนืดน้ำยาง (Viscometer) ชนิด Brookfield Synchotectric Viscometer รุ่น RVF – 100 ผลิตโดยบริษัท Brookfield Engineering Laboratories Inc. ประเทศอังกฤษ ประกอบไปด้วยแกนหมุน (Spindle) 7 ขนาด คือขนาด RV 1 – RV 7 มีความเร็วของการหมุนของแกนหมุน 4 ระดับ คือ 10, 20, 50 และ 100 รอบ/นาที

3.2.8 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-Meter) ยี่ห้อ Mettler รุ่น Delta 320 ผลิตโดยบริษัท Mettler-Toledo Ltd. ประเทศอังกฤษ ใช้ในการวัดความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำยางคอมเพาต์

3.2.9 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyser) ยี่ห้อ Coulter รุ่น Coulter LS230 ผลิตโดยบริษัท Coulter Cooperation Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ในช่วง 0.0400 - 2000 ไมครอน ใช้ในการวัดขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ใช้ในการผสมในน้ำยางในรูปแบบ Dispersion และขนาดอนุภาคของน้ำยางข้น มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



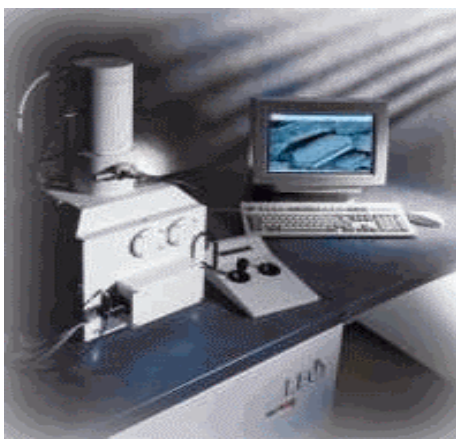
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดขนาดอนุภาค ยี่ห้อ Coulter รุ่น Coulter LS 230 ผลิตโดยบริษัท Coulter Cooperation Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.10 เครื่องทดสอบหาความทนต่อแรงดึง (Tensometer) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ สามารถรับแรงได้สูงสุด 1 กิโลนิวตัน และสามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่ 0.01 - 1000 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบหาความทนต่อแรงดึง (Tensometer) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ

3.2.11 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น LEO 1455VP ผลิตโดยบริษัท K.E. Developments Ltd. ประเทศอังกฤษ สามารถใช้ได้ทั้ง HP และ VP mode ในการทดสอบจะใช้ Mode VP ซึ่งมี VPSE Detector (Variable Pressure Secondary Electron Detector) เป็นตัวดักจับสัญญาณโปรตอนที่เกิดจากการกระทบของอิเล็กตรอนจากตัวอย่างกับโมเลกุลของอากาศ แล้วส่งต่อไปยังหลอดขยายสัญญาณ ใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มยางวัลคาไนซ์ แสดงดังรูปที่ 3.3



**รูปที่ 3.3** เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น LEO 1455VP ผลิตโดยบริษัท K.E. Development Ltd.

3.2.14 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ผลิตโดยบริษัท Mitutoyo Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ใช้ในการวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม

### 3.3 การเตรียมสารเคมี และน้ำยางคอมพาวด์

#### 3.3.1 การเตรียมสารเคมี

สารเคมีก่อนจะนำไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติ จำเป็นอย่างยิ่งต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยก่อน ซึ่งจะนำสารเคมีมาบรรจุอุปกรณ์สำหรับการบด (Ball Mill) โดยใช้อัตราส่วนดังนี้ สารเคมี น้ำ ลูกแก้วรวมกัน  $\frac{3}{4}$  ส่วนของกระป๋อง และปริมาณลูกแก้ว  $\frac{1}{2}$  ของกระป๋อง ใช้ในการเตรียมสารเคมีกำมะถัน (Sulphur), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), ริงสแตย์-เอล (Wingstay L), ซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมต (ZDEC), ซิงค์ไดบิวทิลไดไมโอคาร์บาเมต (ZDBC) และดีสเพอร์ชันสารเคมีผสม (ผสมสารเคมี Sulphur, ZDEC, ZDBC, ZnO และ Wingstay – L บดผสมพร้อมกัน)

3.3.1.1 กำมะถัน เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
กำมะถัน	50.0
เบนโทไนต์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ซั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ซิงค์ออกไซด์	50.0
เบนโทไนต์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ซั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.3 วิงสเตย์ - แอล เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
วิงสเตย์ - แอล	50.0
เบนโทไนด์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.4 ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต	50.0
เบนโทไนด์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.5 ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต	50.0
เบนโทไนด์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.6 คีตเพอร์ชันสารเคมีผสม เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
กำมะถัน	13.83
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต	11.11
ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต	2.77
ซิงค์ออกไซด์	11.11
วิงสเตย์ – แอล	11.11
เบนโทไนท์ เคลย์	1.0
วัลทามอล	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วทั้งหมดไปทำการบดผสม (Ball Mill) จนได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ

3.3.1.7 สบู่โพแทสเซียมโอเลอेट มีความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

	ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ส่วนที่ 1	กรดโอเลอิก	100.0
	น้ำกลั่น	402.0
ส่วนที่ 2	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	23.3
	น้ำกลั่น	43.0

นำส่วนที่ 1 ไปอุ่นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แล้วเติมส่วนที่ 2 ลงไปในส่วนที่ 1 กวนด้วยความเร็วสูง อุ่นต่อไปอีก 1 ชั่วโมง พร้อมกับกวนจนได้สารละลายสีเหลืองใส



3.3.1.8 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เตรียมได้ดังนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	10.0
น้ำกลั่น	90.0

ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามน้ำหนักที่กำหนด เติมนลงในน้ำกลั่น กวนด้วยแท่งแก้วจนสารละลายเข้ากันได้ดี จนเป็นสารละลายสีใส

3.3.1.9 สารละลายแคลเซียมไนเตรท มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เตรียมได้ดังนี้

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
แคลเซียมไนเตรท	10.0
น้ำกลั่น	90.0

ชั่งแคลเซียมไนเตรทตามน้ำหนักที่กำหนด เติมนลงในน้ำกลั่น กวนด้วยแท่งแก้วจนสารละลายเข้ากันได้ดี จนเป็นสารละลายสีใส

### 3.3.2 การเตรียมน้ำยางคอมปอนด์

การเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ โดยการนำสารเคมีที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 นำมาชั่งน้ำหนักตามสูตรการผสมดังตารางที่ 3.1 - 3.4 ควบคุมให้น้ำยางคอมปอนด์มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) เท่ากับ 35% แล้วนำมาทำการบ่มเร่่งน้ำยางคอมปอนด์ (Maturation) ในอ่างน้ำร้อน (Water Bath) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วประมาณ 110 รอบต่อนาทีตามเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 3.1 สูตรการผสมสารเคมี ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกำมะถันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัสดุคานาในช่ียงธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% นำยางชั้น HA	100	167
20% โพลเทสซีมโอลิเอต	0.2	1.0
10% โพลเทสซีมไฮดรอกไซด์	0.2	2.0
50% กำมะถัน	0.5, 1.25, 2.50	1.0, 2.5, 5.0
50% ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บเมต	1.0	2.0
50% ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บเมต	0.25	0.5
50% วิงสเตย์ แอล	1.0	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์	1.0	2.0
น้ำกลั่น	-	119.0

ตารางที่ 3.2 สูตรการผสมสารเคมี ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บเมตต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัสดุคานาในช่ียงธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% นำยางชั้น HA	100	167
20% โพลเทสซีมโอลิเอต	0.2	1.0
10% โพลเทสซีมไฮดรอกไซด์	0.2	2.0
50% กำมะถัน	1.25	2.5
50% ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บเมต	0.25, 1.0, 2.25	0.5, 2.0, 4.5
50% ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บเมต	0.25	0.5
50% วิงสเตย์ แอล	1.0	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์	1.0	2.0
น้ำกลั่น	-	119.0

ตารางที่ 3.3 สูตรการผสมสารเคมี ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% นำยางชั้น HA	100	167
20% โพลเทสซีมโอลิเอต	0.2	1.0
10% โพลเทสซีมไฮดรอกไซด์	0.2	2.0
50% กำมะถัน	1.25	2.5
50% ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต	1.0	2.0
50% ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต	0.25, 1.50	0.5, 3.0
50% วิงสเตย์ แอล	1.0	2.0
50% ซิงค์ออกไซด์	1.0	2.0
น้ำกลั่น	-	119.0

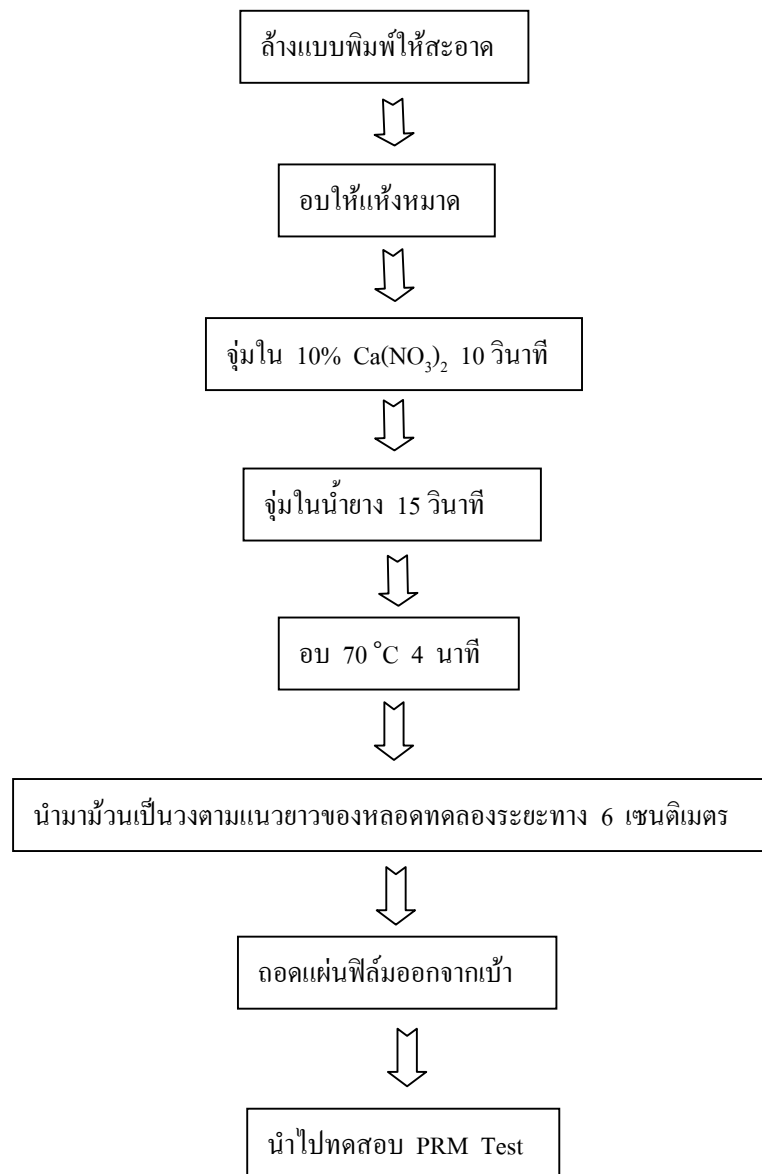
ตารางที่ 3.4 สูตรการผสมสารเคมี ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคดีสเพอร์ชันสารเคมีผสมต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% นำยางชั้น HA	100	167
20% โพลเทสซีมโอลิเอต	0.2	1.0
10% โพลเทสซีมไฮดรอกไซด์	0.2	2.0
50% สารเคมีผสมดีสเพอร์ชัน	4.5	9.0
น้ำกลั่น	-	119.0

### 3.4 การเตรียมแผ่นฟิล์ม

#### 3.4.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์

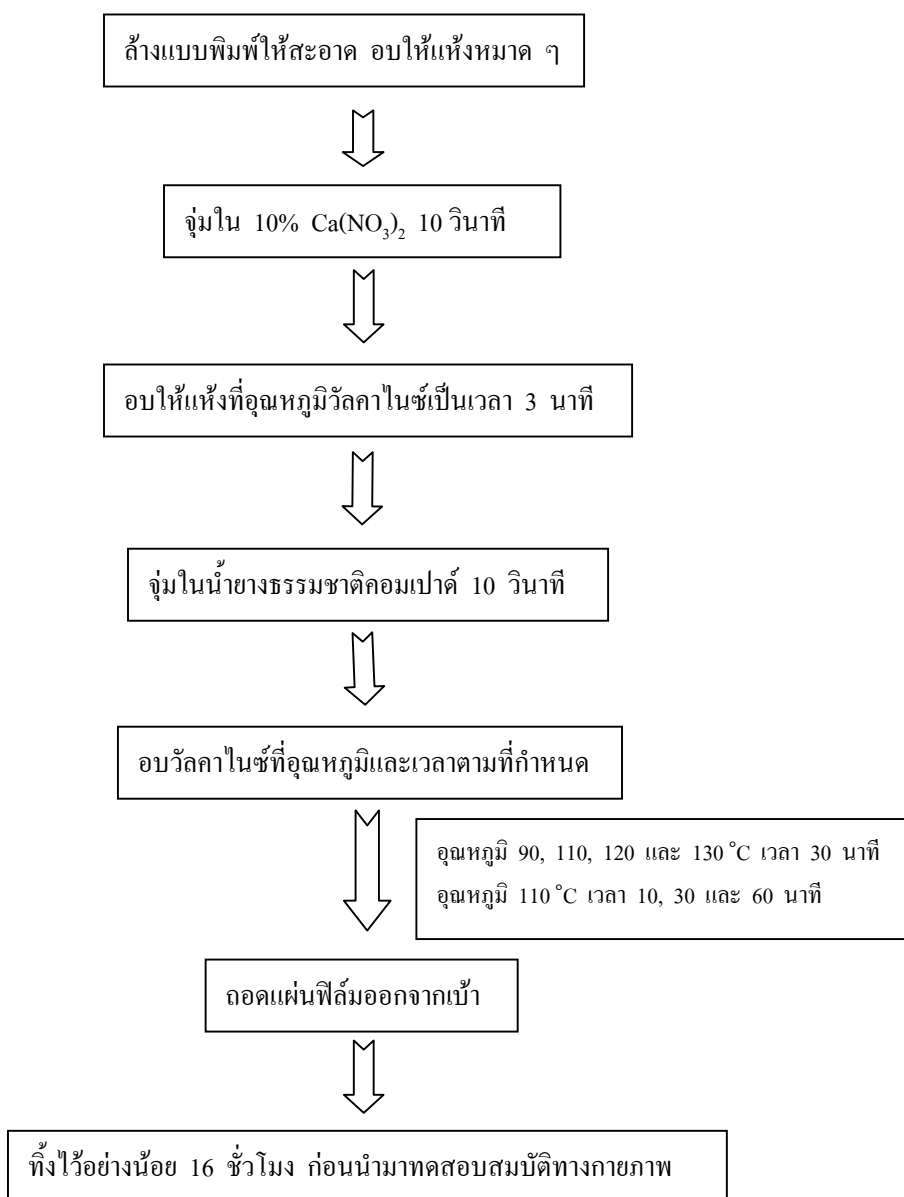
การเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ โดยการเก็บตัวอย่างขณะทำการบ่มแรงน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ ใช้แบบพิมพ์เป็นหลอดทดลองขนาดเส้นรอบวง 7.7 เซนติเมตร ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ สำหรับทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปอนด์ (Prevulcanized Relaxed Modulus, PRM Test)

### 3.4.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

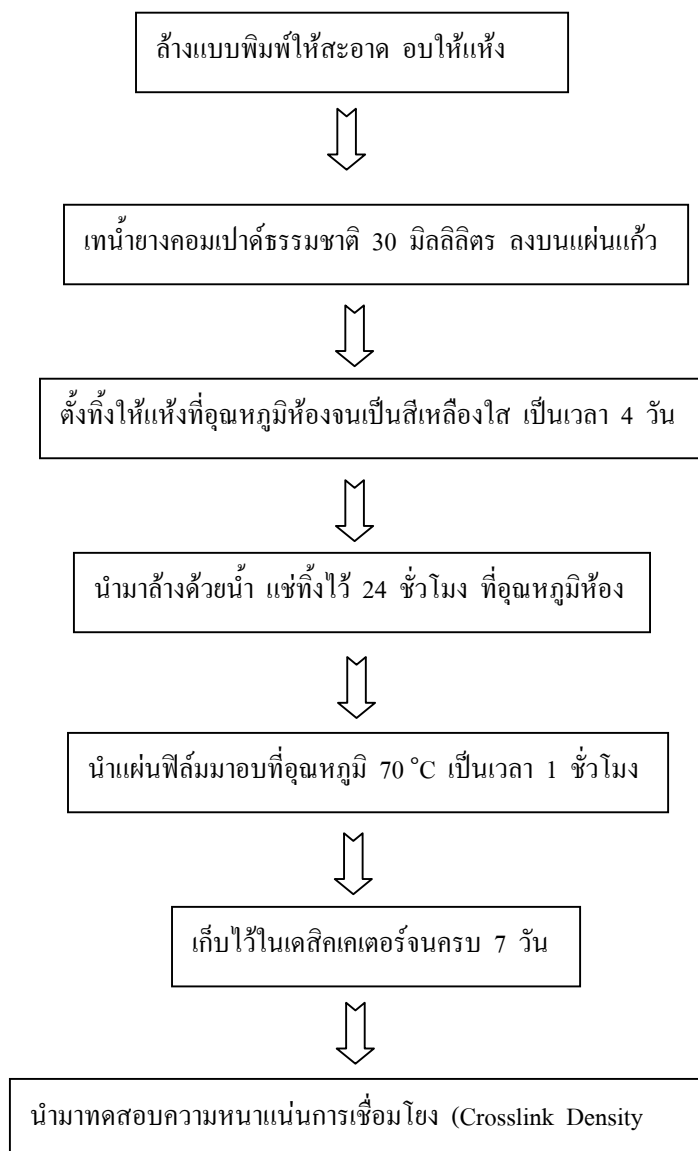
การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติสำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เตรียมโดยการใช้ น้ำยางคอมเป็คซึ่งผ่านกระบวนการบ่ม (Maturation) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่ทำการบ่มน้ำยางคอมเป็คทำการกวนน้ำยางด้วยความเร็ว 110 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (ทำการกวนน้ำยางคอมเป็คตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0-6 และ 22-24) แล้วนำมาเตรียมแผ่นฟิล์มยางด้วยแบบพิมพ์เซรามิก แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ สำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพ

### 3.4.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มสำหรับการทดสอบสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

การเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบสมบัติความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง โดยนำน้ำยางคอมปอนด์ธรรมชาติที่ผ่านการบ่ม (Maturation) น้ำยางคอมปอนด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำมาเทหล่อเป็น (Casting) ด้วยแผ่นแก้ว ขั้นตอนการเตรียมแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

### 3.4.4 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากกระบวนการเตรียมแผ่นฟิล์มตามข้อ 3.4.2 มาผ่านกระบวนการล้างฝุ่นแป้งที่ผิวของชิ้นตัวอย่างออกให้สะอาดด้วยน้ำ แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 5 นาที เมื่อแผ่นฟิล์มแข็ง ทำการหักชิ้นตัวอย่างเพื่อเปิดผิวหน้าใหม่ แล้วเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด ป้องกันการสัมผัสกับความชื้นในบรรยากาศ

### 3.5 วิธีดำเนินการ

วิธีการทดลองที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกศึกษาขนาดอนุภาคของน้ำยางชั้นที่ใช้ในงานวิจัยโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyser, Coulter LS 230) ขั้นตอนต่อมาทำศึกษาการเตรียมสารเคมีดีสเพอร์ชัน (Dispersion) ให้มีขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการในงานวิจัย โดยใช้เทคนิคการบดผสมสารเคมีแบบบอลมิล (Ball Mill) และขั้นตอนสุดท้ายทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมคอมปาด์ ซึ่งประกอบด้วย กำมะถัน (Sulphur) ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์เบต (ZDEC) ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์เบต (ZDBC) และดีสเพอร์ชันสารเคมีผสม ต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางคอมปาด์ ทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง ความหนืด และค่าคลอโรฟอร์มศึกษาสมบัติของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ซึ่งจะทำการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีทดสอบ PRM Test ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ประกอบด้วย 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง และสุดท้ายทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์ม รายละเอียดของขั้นตอนในการวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 ศึกษาขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Natural Rubber Latex)

นำน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงมาทำการทดสอบขนาดอนุภาค โดยการเจือจางให้มีปริมาณของแข็งประมาณ 10% แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่อง Coulter LS 230 ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.1

### 3.5.2 ศึกษาการเตรียมสารเคมีดีสเปอร์ชัน (Dispersion)

เตรียมสารเคมีดีสเปอร์ชัน (Dispersion) โดยใช้อัตราส่วนการผสมดังข้อ 3.3.1.1 – 3.3.1.6 ศึกษาระยะเวลาการบดผสม (Ball Mill) ต่อการลดลงของขนาดอนุภาคสารเคมี ทำการเก็บตัวอย่างขณะบดผสมตั้งแต่ก่อนเริ่มบดผสมจนถึงวันที่ 7 โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคสารเคมี ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Coulter LS 230 ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.1

### 3.5.3 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

#### 3.5.3.1 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกัมมะถันดีสเปอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคกัมมะถันดีสเปอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคกัมมะถันดีสเปอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน และควบคุมขนาดอนุภาคของวิสเคย์ – แอล ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต และซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเปอร์ชัน ให้เท่ากันตลอดการทดลอง ติดตามผลการทดลองดังนี้

ทดสอบสมบัติของน้ำยางคอมเพาต์โดยการทดสอบความเป็นกรด – ด่าง ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.3 ทดสอบความหนืดของน้ำยางคอมเพาต์ก่อนทำการเตรียมแผ่นฟิล์ม ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.4 ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ก่อนการเตรียมแผ่นฟิล์ม ด้วยวิธีการทดสอบคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.5

ทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทดสอบ Pre Vulcanized Relaxed Modulus (PRM Test) ซึ่งการทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์จะทำการเก็บตัวอย่างขณะทำการบ่มน้ำยางคอมเพาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 24, 26, 28 และ 30 ชั่วโมง ตามลำดับ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.6

ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยทดสอบ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.7 ทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.8 และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9



### 3.5.3.2 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน และควบคุมขนาดอนุภาคของวิงสเตย์ – แอล ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาบาเมต และกำมะถันดีสเพอร์ชัน ให้เท่ากันตลอดการทดลอง ติดตามผลการทดลองดังนี้

ทดสอบสมบัติของน้ำยางคอมเพาด์โดยการทดสอบความเป็นกรด – ด่าง ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.3 ทดสอบความหนืดของน้ำยางคอมเพาด์ก่อนทำการเตรียมแผ่นฟิล์ม ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.4 ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ก่อนการเตรียมแผ่นฟิล์ม ด้วยวิธีการทดสอบคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.5

ทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทดสอบ Prevulcanized Relaxed Modulus (PRM Test) ซึ่งการทดสอบอัตราการพรีวัลคาไนซ์จะทำการเก็บตัวอย่างขณะทำการบ่มน้ำยางคอมเพาด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 2, 4, 24, 26, และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.6

ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยทดสอบ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.7 ทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.8 และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9

### 3.5.3.3 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมตดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต

ดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 20 ไมครอน และควบคุมขนาดอนุภาคของวิงสเตย์ – แอล ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมต และกำมะถันดีสเพอร์ชัน ให้เท่ากันตลอดการทดลอง ติดตามผลการทดลองดังนี้

ทดสอบสมบัติของน้ำยางคอมเพาด์โดยการทดสอบความเป็นกรด – ด่าง ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.3 ทดสอบความหนืดของน้ำยางคอมเพาด์ก่อนทำการเตรียมแผ่นฟิล์ม ตามวิธีการ

ทดสอบข้อ 3.6.4 ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ก่อนการเตรียมแผ่นฟิล์ม ด้วยวิธีการทดสอบคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.5

ทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทดสอบ Prevulcanized Relaxed Modulus (PRM Test) ซึ่งการทดสอบอัตราการพรีวัลคาไนซ์จะทำการเก็บตัวอย่างขณะทำการบ่มน้ำยางคอมเปาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 2, 4, 24, 26, และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.6

ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยทดสอบ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.7 ทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.8 และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9

#### 3.5.3.4 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยแปรขนาดอนุภาคสารเคมีผสมดีสเพอร์ชันอยู่ในช่วง 1 – 44 ไมครอน ติดตามผลการทดลองดังนี้

ทดสอบสมบัติของน้ำยางคอมเปาต์โดยการทดสอบความเป็นกรด – ด่าง ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.3 ทดสอบความหนืดของน้ำยางคอมเปาต์ก่อนทำการเตรียมแผ่นฟิล์ม ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.4 ทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ก่อนการเตรียมแผ่นฟิล์ม ด้วยวิธีการทดสอบคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.5

ทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการทดสอบ Prevulcanized Relaxed Modulus (PRM Test) ซึ่งการทดสอบอัตราการพรีวัลคาไนซ์จะทำการเก็บตัวอย่างขณะทำการบ่มน้ำยางคอมเปาต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 24, 26, 28 และ 30 ชั่วโมง ตามลำดับ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.6

ทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยทดสอบ 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดจนขาด ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.7 ทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density) ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.8 และทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.6.9

### 3.6 วิธีการทดสอบ

#### 3.6.1 การทดสอบหาขนาดอนุภาค (Particle Size)

นำตัวอย่างน้ำยางข้นและสารเคมีดีสเพอร์ชัน มาปรับให้มีปริมาณของแข็งประมาณ 10% โดยการเติมน้ำกลั่นลงไป นำมาทดสอบหาขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่อง Coulter LS 230 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารได้ตั้งแต่ขนาด 0.0400 – 2000 ไมครอน การทดสอบขนาดอนุภาคของน้ำยางข้นจะใช้ Optical Module PSL.RFD และการทดสอบขนาดอนุภาคของสารเคมีดีสเพอร์ชันจะใช้ Optical Module GARNET.RFD ก่อนเริ่มเดินเครื่องทดสอบต้องมีการวอร์ม (Warm) เครื่องก่อน 2 ชั่วโมง แล้วทำการคาลิเบรทตัวกลางที่ใช้ หลังจากนั้นใช้หลอดหยดค่อยๆ หยดสารลงใน Vessel ของเครื่อง Coulter จนได้ค่า PID มากกว่า 45% แต่ไม่เกิน 55% โดยเครื่องจะปรากฏคำว่า OK จึงหยุดเติมสาร แล้วทำการเดินเครื่อง จะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของปริมาตร (Percentage Volume) กับขนาดอนุภาคดีสเพอร์ชัน

#### 3.6.3 การทดสอบความเป็นกรด - ด่าง

ใช้ pH Meter มาทำการทดสอบ โดยนำน้ำยางคอมเพาด์มาใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำ Electrode จากเครื่อง pH Meter มาจุ่มลงในน้ำยางแช่ทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที แล้วอ่านค่าที่ปรากฏบนหน้าจอ

#### 3.6.4 การทดสอบความหนืด (Viscosity)

การทดสอบความหนืดของน้ำยางคอมเพาด์ โดยใช้เครื่อง Brookfield Synchotectic Viscometer วิธีการใช้มีดังนี้ โดยการเลือก Spindle ที่ต้องการมาต่อเข้ากับแกนกลางของเครื่อง โดยให้ Spindle จุ่มลงในของเหลว จนระดับของเหลวอยู่ตรงคอคอดของแกน Spindleพอดี ปรับให้เครื่อง Viscometer อยู่ในแนวระดับโดยดูที่ลูกน้ำ ปรับเลือกระดับความเร็วที่ต้องการ แล้วเปิดสวิตช์เดินมอเตอร์เครื่อง แล้วกดคัลชให้เข็มชี้ยึดติดกับหน้าปัดของเครื่อง พร้อมกับหยุดมอเตอร์ โดยพยายามให้ตำแหน่งของเข็มชี้อยู่ตรงกับช่องว่างของกระจกพอดี ค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดนำมาคูณกับตัวเลขที่อยู่ในตารางที่ 3.5 จะเป็นค่าความหนืดของน้ำยางคอมเพาด์ มีหน่วยเป็น เซ็นติพอยส์ (Centipoise, cps)

ตารางที่ 3.5 ค่าคงที่ของตัวคูณเพื่อให้ได้ความหนืดของของเหลวมีหน่วยเป็นเซ็นติพอยส์

ความเร็ว รอบ / นาที	เลขที่แกนหมุน						
	RV 1	RV 2	RV 3	RV 4	RV 5	RV 6	RV 7
10	10	40	100	200	400	1000	4000
20	5	20	50	100	200	500	2000
50	2	8	20	40	80	200	800
100	1	4	10	20	40	100	400

### 3.6.5 การทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ (Chloroform Test)

การทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ (Chloroform Test) (Blackley, 1997b:451) โดยการนำน้ำยางคอมพอสต์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วเติมคลอโรฟอร์มปริมาณ 10 มิลลิลิตรลงไป กวนจนน้ำยางจับตัวเป็นก้อน ซึ่งระดับคลอโรฟอร์มที่บรรจุจะจัดตามลักษณะของก้อนที่ได้ แบ่งเป็น 4 ระดับกว้าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.6 การจัดระดับของการทดสอบคลอโรฟอร์มที่บรรจุ (Chloroform Number)

Chloroform No.	ระดับการวัลคาไนซ์	ลักษณะของก้อนยาง
No. 1	ยังไม่เกิดการวัลคาไนซ์	ยางจับตัวเป็นก้อนใหญ่เมื่อดึงออกจะค่อนข้างเหนียว สามารถดึงออกเป็นสายยาวได้
No. 2	เกิดการวัลคาไนซ์เล็กน้อย	ยางรวมตัวกันเป็นก้อนเล็กนุ่มแยกออกจากกันเมื่อดึงจะได้เป็นสายสั้น ๆ
No. 3	เกิดการวัลคาไนซ์ปานกลาง	ก้อนยางไม่มีความเหนียวอยู่เลย เมื่อดึงจะขาดทันที
No. 4	เกิดการวัลคาไนซ์เต็มที่	เป็นเม็ดเล็ก ๆ ไม่รวมตัวกันเป็นก้อน

### 3.6.6 การทดสอบระดับการพรีวัลคาไนซ์ (Pre-vulcanize Relaxed Modulus, PRM Test)

เป็นการทดสอบ Pre-Cure ของน้ำยางคอมพอสต์ การเตรียมชิ้นตัวอย่างตามวิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มข้อ 3.4.1 นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบหาความทนต่อ

แรงดึง (Tensometer) โดยการดึงให้ได้ระยะยืด 100% อ่านค่าน้ำหนักที่ใช้จนได้ระยะยืด 100% ภายหลังการดึง 1 นาที (Blackley, 1997b: 453-454)

การคำนวณ

$$PRM = \frac{Fdl}{2W} \quad (\text{Kg} / \text{cm}^2) \quad (3.1)$$

เมื่อ

- F : น้ำหนักที่อ่านได้หลังจากการยืด 100% เป็นเวลา 1 นาที (Kg)  
 d : ความหนาแน่นของน้ำยางคอมเพาด์เท่ากับ  $9.5 \times 10^{-4}$  (Kg / cm<sup>3</sup>)  
 l : เส้นรอบวงของแบบพิมพ์เท่ากับ 7.7 (cm)  
 W : น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (Kg)

### 3.6.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

นำชิ้นตัวอย่างจากการเตรียมแผ่นฟิล์มข้อ 3.4.2 มาเตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลขนาด Die Type C ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของที่จับขึ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที โดยวิธีการทดสอบยึดตามมาตรฐาน ASTM D 412-98a มีสูตรในการคำนวณดังนี้

การทดสอบ 100% โมดูลัส (100%Modulus)

$$100 \% \text{ Modulus} = \frac{F}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (3.2)$$

กำหนดให้

- F : แรงที่ใช้ในการยืดขึ้นทดสอบจนได้ระยะยืด 100% (N)  
 A : พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะที่ยังไม่ได้ยืด (mm<sup>2</sup>)

การทดสอบ 300% โมดูลัส (100%Modulus)

$$300 \% \text{ Modulus} = \frac{F}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (3.3)$$

กำหนดให้

- F : แรงที่ใช้ในการยืดขึ้นทดสอบจนได้ระยะยืด 300% (N)  
 A : พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะที่ยังไม่ได้ยืด (mm<sup>2</sup>)

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

$$\text{Tensile Strength} = \frac{F}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (3.4)$$

กำหนดให้

- F : แรงที่ใช้ในการยืดชิ้นทดสอบจนขาด (N)  
 A : พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะที่ยังไม่ได้ยืด ( $\text{mm}^2$ )

การทดสอบระยะยืดจนขาด (Elongation at Break)

$$\text{Elongation at Break} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (\%) \quad (3.5)$$

กำหนดให้

- L : ระยะยืดขณะที่ชิ้นทดสอบขาด (cm)  
 L<sub>0</sub> : ระยะกำหนดเริ่มต้นก่อนการดึง (cm)

### 3.6.8 การทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมได้จากการเตรียมแผ่นฟิล์มข้อ 3.4.3 มาทดสอบความหนาแน่นการเชื่อมโยง โดยการตัดชิ้นตัวอย่างเป็นวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร แล้วนำมาชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำไปแช่ในโทลูอินเกรดสำหรับวิเคราะห์ (Analyse Grade) ที่บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด มีปริมาณโทลูอิน 30 มิลลิลิตร แช่ในโทลูอินเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งหลังจากแช่โทลูอินที่ผิวตัวอย่างออกจนแห้ง แล้วนำมาคำนวณดังสูตรต่อไปนี้ (Jayasuriya, 2001)

$$V = kQ^{-5/3} \quad (3.6)$$

$$Q = 1 + (d_1 / d_2)(w_2 / w_1) - d_1 / d_2 \quad (3.7)$$

กำหนดให้

- V : ความหนาแน่นการเชื่อมโยง (Crosslink Density)  
 k :  $7.93 \times 10^{-18}$   
 Q : อัตราส่วนการบวมพองโดยปริมาตร (Volume Swell Ratio)  
 w1 : น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (g)  
 w2 : น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างหลังการบวมพอง (g)  
 d1 : ความหนาแน่นของยาง (0.95 g/mL)  
 d2 : ความหนาแน่นของโพลูอีเทน (0.875 g/mL)

### 3.6.9 การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมตามข้อ 3.4.4 นำไปเคลือบทองภายใต้สภาวะแก๊สอาร์กอนเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อช่วยเป็นตัวเหนียวนาในการรับอิเล็กตรอนขณะทำการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด โดยมีหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ดังนี้คือ ระบบสุญญากาศจะต้องสร้างสภาพสุญญากาศภายในคอลัมน์ซึ่งบรรจุระบบอิเล็กตรอนออพติกก่อน โดยระบบอิเล็กตรอนออพติกที่อยู่ในคอลัมน์สุญญากาศจะประกอบด้วยต้นกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun) ซึ่งทำจากไส้ทังสเตน (Tungsten Filamen) ทำหน้าที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากส่วนปลายเมื่อเกิดความร้อนจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและเป็นแคโทดไปในตัวด้วย เลนส์อิเล็กตรอน (Magnetic Lens) ช่องบังกัป (Aperture) และอุปกรณ์ปรับแก้แกนของลำอิเล็กตรอน ส่วนประกอบเหล่านี้จะแยกเป็นส่วน ๆ สามารถถอดประกอบได้ง่ายเพื่อสะดวกในการบำรุงรักษาและทำความสะอาด จากนั้นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (Main Power Supply) ซึ่งมี 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage Power Supply) และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับเลนส์แม่เหล็ก (Magnetic Lens Supply) จึงจะทำงานได้ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าเร่งให้กับระบบอิเล็กตรอนออพติกเพื่อสร้างลำอิเล็กตรอนความเร็วสูง ทำให้อิเล็กตรอนมีสมบัติคล้ายคลื่นแสง และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับเลนส์แม่เหล็กจะควบคุมการทำงานของระบบเลนส์อิเล็กตรอน เพื่อสร้างกำลังขยายภาพขึ้นในระบบอิเล็กตรอนออพติกทั้งระบบสุญญากาศ และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเลนส์อิเล็กตรอนจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เกิดความร้อนสูง ได้แก่ เครื่องสูบอากาศแบบดิฟฟิวชัน

ทรานซิสเตอร์กำลังสำหรับขับกระแสในขดลวดแม่เหล็กเป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิของการทำงานให้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นตัวอย่างที่ต้องการศึกษาโครงสร้างจะต้องใส่ในห้องสุญญากาศภายในคอลัมน์ที่จัดได้สภาพโครงสร้างของระบบเลนส์ ภาพสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบอิเล็กทรอนิกส์ออกพิกต้องอาศัยระบบการสร้างภาพ (Image Translating Unit) เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพขยายนั้นด้วยตาเปล่า และสามารถบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มได้ด้วยหน่วยบันทึกภาพ (Photo Recording Unit) ระบบบันทึกสัญญาณ