บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 น้ำยางสด จากบริษัทปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด จ.ปัตตานี

3.1.2 ยางแท่ง STR 5L และ STR 20 จากบริษัทถาวรอุตสาหกรรม จำกัด จ.สงขลา

3.1.3 ยางแผ่นรมควันชั้น 3 จากบริษัทถาวรอุตสาหกรรม จำกัด จ.สงขลา

3.1.4 ยางแท่ง STR CV60 จากบริษัทไทยฮั้วยางพารา จำกัด สาขาบางกล่ำ จ.สงขลา

3.1.5 โทลูอีน (Toluene) ใช้สำหรับละลายยางเพื่อหาปริมาณเจล มีลักษณะเป็นของเหลวใสมีสูตรทางเคมี $C_6H_5CH_3$ น้ำหนักโมเลกุล 92.14 เข้มข้น 99.5% ผลิตโดย J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.6 โซเดียม ไนไตรท์ (Sodium nitrite) ใช้สำหรับเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวละลายน้ำได้ มีสูตรทางเคมี $NaNO_2$ น้ำหนักโมเลกุล 68.99 มีความบริสุทธิ์ 99% ผลิตโดยบริษัท Farmitalia Carluerba

3.1.7 เอทานอล (Ethanol) ใช้สำหรับตกตะกอนสารละลายยางในการหาปริมาณเจล และปริมาณอัลดีไฮด์ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวใส มีสูตรทางเคมี C_2H_5OH น้ำหนักโมเลกุล 46.07 เข้มข้น 95% ผลิตโดย โรงงานสุรา องค์การสุรา กรมสรรพสามิตร จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.1.8 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน (2,4-Dinitrophenylhydrazine) ใช้สำหรับหาปริมาณอัลดีไฮด์ในยาง มีลักษณะเป็นของแข็งละเอียดสีส้มอมน้ำตาล มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_6N_4O_4$ น้ำหนักโมเลกุล 198.14 เข้มข้น 99% ผลิตโดย Fluka Guarantee ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.9 เตตระไฮโดรฟิวแรน (Tetrahydrofuran) ใช้สำหรับละลายยางเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุล มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมีคือ C_4H_8O น้ำหนักโมเลกุล 72.11 เข้มข้น 100% ผลิตโดย J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.10 เบนซีน (Benzene) ใช้สำหรับละลายยางเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลที่หาแบบวัดความหนืดมีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมี C_6H_6 น้ำหนักโมเลกุล 78.11 เข้มข้น 99.7% ผลิตโดยบริษัท BDH Chemical Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.1.11 ไฮดรอกซิลอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride) ใช้สำหรับควบคุมความหนืดของยาง มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคล้ายน้ำตาลทราย มีสูตรทางเคมี $NH_2OH.HCl$ น้ำหนักโมเลกุล 69.49 บริสุทธิ์ 96.1% ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.12 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ใช้ในการหาปริมาณอัลคีไฮด์ มีสูตรทางเคมีคือ HCl น้ำหนักโมเลกุล 36.46 เข้มข้น 36.5-38.0% ผลิตโดย BDH Chemical Ltd ประเทศอังกฤษ

3.1.13 กรดฟอร์มิก (Formic acid) ใช้สำหรับจับตัวน้ำยางโดยเจือจางเป็นสารละลายเข้มข้น 1.5-2.5 % มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมีคือ HCOOH น้ำหนักโมเลกุล เข้มข้น 94% ผลิตโดย BASF ประเทศเยอรมันนี

3.1.14 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulphate) ใช้สำหรับการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคล้ายน้ำตาลทราย ละลายในน้ำอุ่น มีสูตรทางเคมีคือ $K_2S_2O_8$ น้ำหนักโมเลกุล 270.31 เข้มข้น 98% ผลิตโดย Carlo Erba ประเทศอังกฤษ

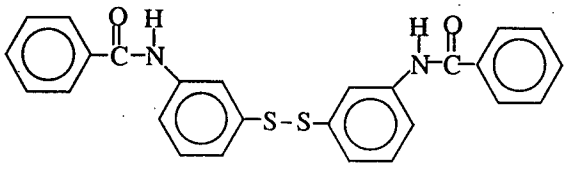
3.1.15 ฟีนิลไฮดราซีน (Phenylhydrazine) ใช้สำหรับการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาล มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_8N_2$ น้ำหนักโมเลกุล 144.60 เข้มข้น 99% ผลิตโดย Fluka Guarantee ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.1.16 ไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ใช้สำหรับการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมีคือ H_2O_2 น้ำหนักโมเลกุล 34.02 เข้มข้น 50% ผลิตโดย BASF ประเทศเยอรมันนี

3.1.17 ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene) ใช้สำหรับการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_5NO_2$ น้ำหนักโมเลกุล 123.11 เข้มข้น 100% ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

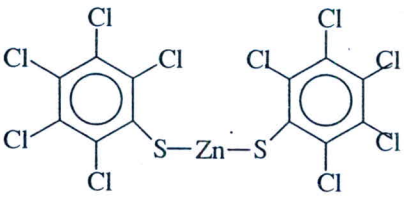
3.1.18 HydroperseP50 ใช้สำหรับการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง ไม่ทราบสูตรทางเคมีที่แน่ชัด คาดว่ามีส่วนของไดซัลไฟด์อยู่ในโครงสร้าง จัดจำหน่ายโดยบริษัท โพลิเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด จังหวัดนนทบุรี

3.1.19 ไดเบนซามิโดไดฟีนิลไดซัลไฟด์ (2,2-dibenzamidodiphenyl disulphide: Peptor 3S) ใช้สำหรับเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีลักษณะเป็นของแข็งละเอียดสีน้ำตาล มีสูตรทางเคมีคือ



ผลิตโดย Kawagochi Chemical Ind.Co.Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.1.20 เกลือของเพนตะคลอโรไทโอฟีนอล (Zinc salt of pentachlorothiophenol:Renacit IV) ใช้สำหรับเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นก้อนแข็งสีน้ำตาล มีสูตรทางเคมี คือ



ผลิตโดยบริษัท Bayer Ltd. ประเทศเยอรมันนี

3.1.21 สารตัวเร่งร่วม (Catalyst mixture) ใช้สำหรับเร่งการย่อยของยางเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน เตรียมโดยใช้โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน จำนวน 30 ส่วน ผสมกับคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) ผลิตโดยบริษัท Ferak ประเทศเยอรมัน จำนวน 4 ส่วน และซิลิเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemie ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ จำนวน 1 ส่วน ผสมให้เข้ากัน

3.1.22 ไฮดรอกซิลแอมโมเนียมซัลเฟต (Hydroxyl amonium sulfate) ใช้สำหรับควบคุมความหนืดของยาง จัดจำหน่ายโดยบริษัท ไทยโนพาริน อินเตอร์เทรด จำกัด

3.1.23 โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulphite) มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสูตรทางเคมี คือ $Na_2S_2O_5$ ใช้เป็นสารฟอกสีและรักษาสภาพของน้ำยาง ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องชั่ง (Electronic Balance) ละเอียด 4 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักสูงสุดได้ 120 กรัม ยี่ห้อ LIBBOR รุ่น AGE-120 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 อ่างน้ำร้อน (Water Bath) ขนาด 52x32x21 เซนติเมตร สามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 100 °C ยี่ห้อ GRANT รุ่น W.28 ผลิตในประเทศอังกฤษ

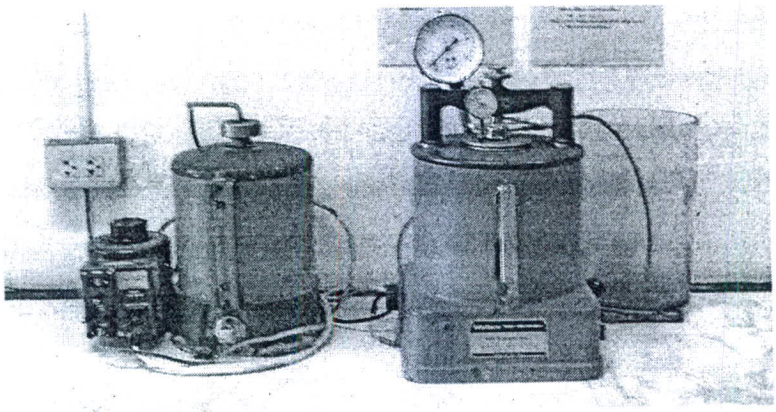
3.2.3 ตู้อบ (Universal Oven) ใช้สำหรับอบยางเพื่อใช้ในการทดสอบปริมาณเจลและอัลดีไฮด์ มีขนาดภายนอก 70x54x74 เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายใน 58x40x50 เซนติเมตร มีระบบพัดลมเพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุด 250 °C และตั้งเวลาในการปิดได้นาน 24 ชั่วโมง รุ่น ULM 500 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมันนี

3.2.4 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) เป็นเครื่องบดและผสมยาง ประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาดผ่าศูนย์กลาง 150 มม.ยาว 380 มม. 2 ลูก ความเร็วลูกกลิ้งหน้า 24 rpm ความเร็วลูกกลิ้งหลัง 20 rpm ผลิตโดยบริษัท ชัยเจริญการช่าง จำกัด

3.2.5 เครื่องวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง (Oscillating Disk Rheometer) เป็นเครื่องวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ ประกอบด้วยโรเตอร์แบบ Bionical disk ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3996 นิ้ว โรเตอร์หมุนไปกลับด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที หมุนกลับไปกลับมาด้วยมุม 1 องศา แรงที่ใช้กดฝาปิดบนเป็นระบบไฮดรอลิกลมเท่ากับ 11.0±0.5 กิโลนิวตัน เป็นเครื่องรุ่น 2000 ผลิตโดยบริษัท Monsanto Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

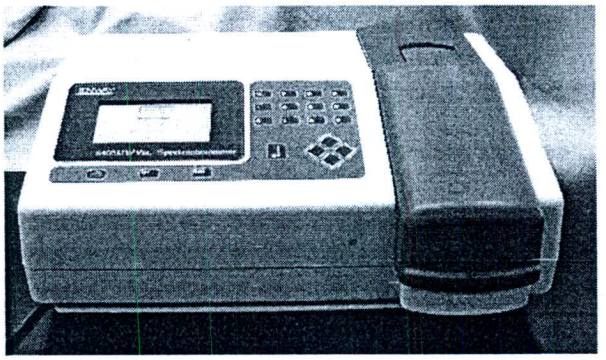
3.2.6 ตัวกรองสารละลายยาง (Filter) ใช้สำหรับกรองสารละลายยางตัวอย่างเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุล ทำจาก PTFE-sterile เคลือบด้วย PP ขนาด 0.45 μm ผลิตโดย Satorius AG ประเทศเยอรมัน

3.2.7 เครื่องวัดความอ่อนตัวของยาง (Wallace Rapid Plastometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความนิ่ม และดัชนีความอ่อนตัวของยาง โดยใช้หลักการอัดยางที่มีปริมาตรแน่นอนไว้ในแผ่นอัดแบนทั้งสองแผ่นด้วยความดันไอน้ำระหว่าง 0.5–1.0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 100 °C มีตัวควบคุมความดันไอน้ำด้วยเครื่อง Slide Regulator ผลิตโดยบริษัท H.W. Wallace & Co., Ltd. ประเทศอังกฤษ



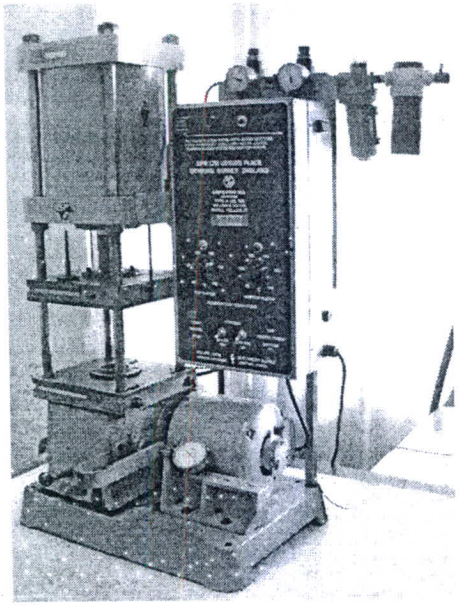
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความอ่อนตัวของยาง (Wallace Rapid Plastometer)

3.2.8 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV/Visible Spectrophotometer) เป็นเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายยางประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง เมนูหลักของเครื่องประกอบด้วย Photometric, Spectrum, Multi wavelength และ Kinetics ยี่ห้อ LKB รุ่น ULTROSPEC-2 ผลิตในประเทศอังกฤษ



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV/Visible Spectrophotometer)

3.2.9 เครื่องวัดความหนืดของยาง (Mooney viscometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดและลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง ใช้ระบบปิด-เปิดด้วยลม สามารถตั้งอุณหภูมิการทดสอบได้ตั้งแต่ 80-180 °C จานโลหะมี 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38.01±0.01 มิลลิเมตร หนา 5.54±0.03 มิลลิเมตร ขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.48±0.03 มิลลิเมตร ห้องใส่ยางมีขนาด 50±0.13 มิลลิเมตร ลึก 10.62±0.03 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็ว 2 รอบต่อนาที ผลิตโดยบริษัท SPRI Co., Ltd ประเทศอังกฤษ

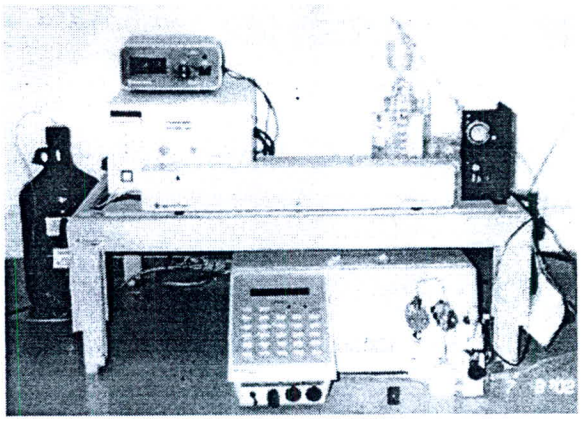


รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืดของยาง (Mooney viscometer)

3.2.10 เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Refrigerated Universal Centrifuge) เป็นเครื่องปั่นแยกความเร็วสูง ตั้งอุณหภูมิของเครื่องได้ –10-40 °C ตั้งเวลาในการทำงานได้ 1-60 นาที ใส่ตัวอย่างได้ 6 ตัวอย่าง ขนาดของเครื่อง กว้าง 69 เซนติเมตร ลึก 55 เซนติเมตร สูง 37 เซนติเมตร ปรับความเร็วได้สูงสุด 12,000 รอบต่อนาที ยี่ห้อ HERMLE รุ่น Z323K ผลิตโดยHermle Labortecnik GmbH ประเทศเยอรมัน

รูปที่ 3.4 เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Refrigerated Universal Centrifuge)

3.2.11 เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล (Gel Permiation Chromatography) เป็นเครื่องมือหาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยาง ประกอบด้วย SP8810 presision pump, RI detecter shodex RISE-61, column heater SP8792 ผลิตโดย Spectra-Physics ประเทศสหรัฐอเมริกา

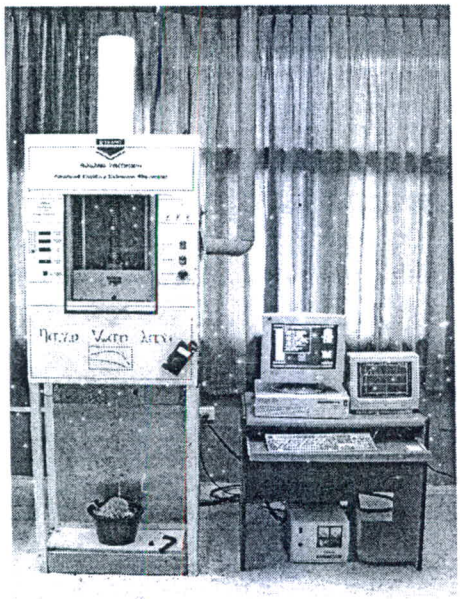


รูปที่ 3.5 เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล (Gel Permiation Chromatography)

3.2.12 เครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender) รุ่น Haake Rheomix 90 เป็นเครื่องมือสำหรับวัดพลังงานในการผสมยางสามารถวัดค่าของแรงบิด อุณหภูมิ และพลังงานที่ใช้ในการผสม ประกอบด้วยห้องเสื้อขนาด 79 มิลลิลิตร ภายในมีโรเตอร์หมุนเข้าหากัน ปรับอุณหภูมิของเครื่องด้วยระบบลม ผลิตในประเทศ สหรัฐอเมริกา

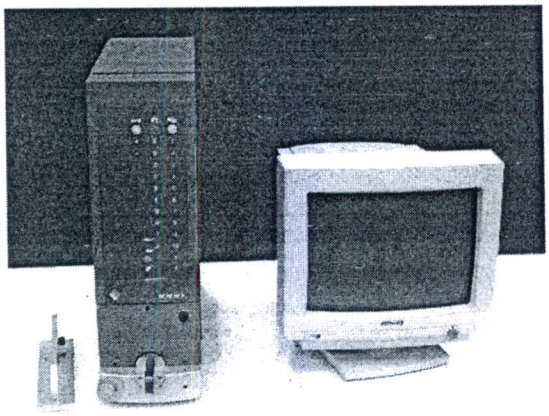
3.2.13 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine) รุ่น 50 กิโลนิวตัน มีโหลดเซลล์ (Load cell) เป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงที่วัดได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวเลขแสดงผล สามารถดึงหรือกดได้ด้วยแรงตั้งแต่ 0.04 ถึง 50,000 นิวตัน มีเอซ์เทนโซมิเตอร์ (Extensometer) ทำหน้าที่วัดระยะที่เปลี่ยนแปลงขณะทดสอบ ระยะเคลื่อนที่สามารถวัดได้สูงสุด 1,000 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดหรือดึงสามารถปรับได้จาก 0.01-499 มิลลิเมตรต่อนาที ผลิตโดยบริษัท Tensometric Co., Ltd., ประเทศอังกฤษ

3.2.14 เครื่องวัดสมบัติการไหลของยาง (Capillary Extrusion Rheometer : ROSAND) เป็นเครื่องมือวัดการไหลของยางหรือพอลิเมอร์ ประกอบด้วยกระบอกใส่ยาง (Barell) หุ้มด้วยตัวให้ความร้อน 3 ชุด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ส่วนปลายกระบอกมีร่องเกลียวสำหรับติดตั้งหัวดายน์ (Die) ส่วนบนของเครื่องมีระบบขับเคลื่อนลูกสูบเพื่อดันพอลิเมอร์ด้วยอัตราเร็วที่ควบคุมได้ในหน่วยเซนติเมตรต่อนาที ผลิตโดยบริษัท Rosand precision Ltd. ประเทศอังกฤษ



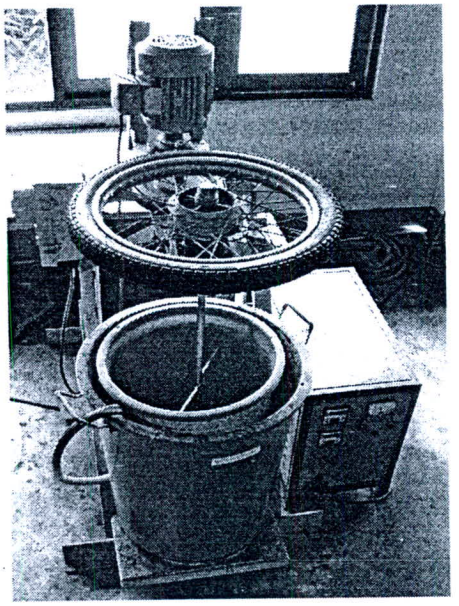
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดสมบัติการไหลของยาง (Capillary Extrusion Rheometer : ROSAND)

3.2.15 เครื่องวัดการกระจายตัวของเขม่าดำในพอลิเมอร์ (Disper Greder) รุ่น Disper Grader 100 มีกำลังขยาย 100 เท่า เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการกระจายตัวและขนาดกลุ่มก้อนของเขม่าดำในพอลิเมอร์ ผลิตโดยบริษัท OptiGrade ab ประเทศสวีเดน



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดการกระจายตัวของเขม่าดำในพอลิเมอร์

3.2.16 ถังกวนน้ำยางขนาด 20 กิโลกรัม ใช้สำหรับเตรียมยางในปริมาณของน้ำยางสด 20 กิโลกรัม ประกอบด้วยถังกวนขนาด 17 แกลอน อยู่ภายในถังรองรับอีกชั้นซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้ด้วยการไหลของน้ำ ใบพัดมี 3 ชั้น หมุนด้วนระบบมอเตอร์ เป็นเครื่องที่ดัดแปลงเพื่อใช้ในการทดลองโดยช่างเทคนิคของภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



รูปที่ 3.8 ถังกวนน้ำยางขนาด 20 กิโลกรัม

3.2.17 เครื่อง Hardness Tester เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งของยางลักษณะเป็นแบบ Shore Durometer Type A ผลิตโดยบริษัท Brevelli AFTRI ประเทศอิตาลี

3.2.18 เครื่อง Akron Abrader ผลิตโดยบริษัท H.W. Wallace & Co.,Ltd. ประเทศอังกฤษ เป็นเครื่องมือทดสอบหาความต้านทานการสึกหรอของยาง ชิ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 65.3 มม. หนา 63.5 มม. ตรงกลางมีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มม.

3.2.19 เครื่อง Compression set เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการคืนตัวกลับของยาง ประกอบด้วยแผ่นเหล็กขนาด 15 x 20 x 0.75 เซนติเมตร จำนวนสามแผ่นวางเรียงเป็นสองชั้น แต่ละชั้นถูกคั่นด้วย Space bar หนา 0.95 เซนติเมตร มีสกรูยึดแน่นทั้งสี่มุม เวลาทดสอบจะนำยางไปวางตรงกลางแล้วขันสกรูให้แน่นแล้วจึงนำไปอบ โดยชิ้นทดสอบเป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร หนา 1.22 เซนติเมตร

3.2.20 เครื่อง Yerzley Type Oscillograph เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหา Static Modulus และ Yerzley Resilience ของยาง รุ่น 248 ผลิตโดยบริษัท Toyo Seiki Seisaku-Sho Ltd. ประเทศญี่ปุ่น ชิ้นตัวอย่างที่ใช้เป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 ± 0.005 นิ้ว (19 มิลลิเมตร)

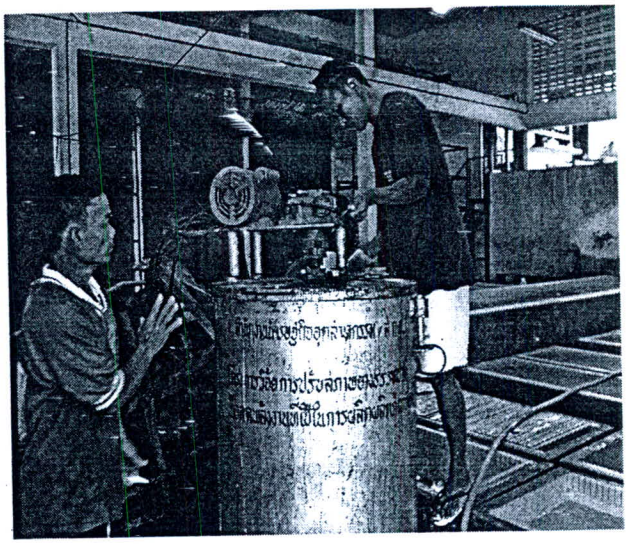
3.2.21 เครื่อง Cold Feed Extruder ใช้ในการศึกษาลักษณะผิวของยางที่ถูกดันผ่าน Garvey die เครื่องเอกซ์ทรูดเป็นเครื่องมือที่ผลัก หรือดันยางให้ผ่านช่องที่เปิดเอาไว้ ช่องนี้เรียกว่า die ลักษณะของยางที่ไหลออกมาจากช่อง รูปร่างเป็นไปตามรูหน้าตัดของช่องที่เปิดเอาไว้โดย สกรูจะทำหน้าที่ดันยางและกระบอก (Barel) สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิได้ทำให้ยางที่อยู่ภายในมีอุณหภูมิตามต้องการ เครื่อง Cold Feed Extruder ที่ใช้ผลิตโดยบริษัท Farrel Co., Ltd. ประเทศอังกฤษ

3.2.22 De Mattia Flexing Machine เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานต่อการหักงอของยาง ผลิตโดยบริษัท H.W.wallace &Co.,Ltd Croydon ประเทศอังกฤษ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างที่จับทั้งสองใกล้กันที่สุด เท่ากับ 19.0 มม. (0.75 นิ้ว) และระยะที่ห่างที่สุดระหว่างที่จับทั้งสอง เท่ากับ 76.2 มม. (3.00 นิ้ว) ความเร็วของการเคลื่อนไหวของที่จับทั้งสองขึ้นลงในแนวตั้ง เท่ากับ 300±10 รอบต่อนาที

3.2.23 เครื่องรีดแผ่นยางสามลูกกลิ้ง (Three Roll Calender) เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับรีดยางให้เป็นแผ่นให้มีความหนาตามต้องการ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 6 นิ้ว ยาว 20 นิ้ว โดยลูกกลิ้งบนและลูกกลิ้งกลางหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน และเร็วกว่าลูกกลิ้งล่าง ในอัตราส่วน 1:1:1.05 ความเร็วของลูกกลิ้งสามารถปรับได้ อุณหภูมิของลูกกลิ้งสามารถปรับได้โดยใช้น้ำร้อน ผลิตโดยบริษัท ชัยเจริญการช่าง จำกัด กรุงเทพฯ

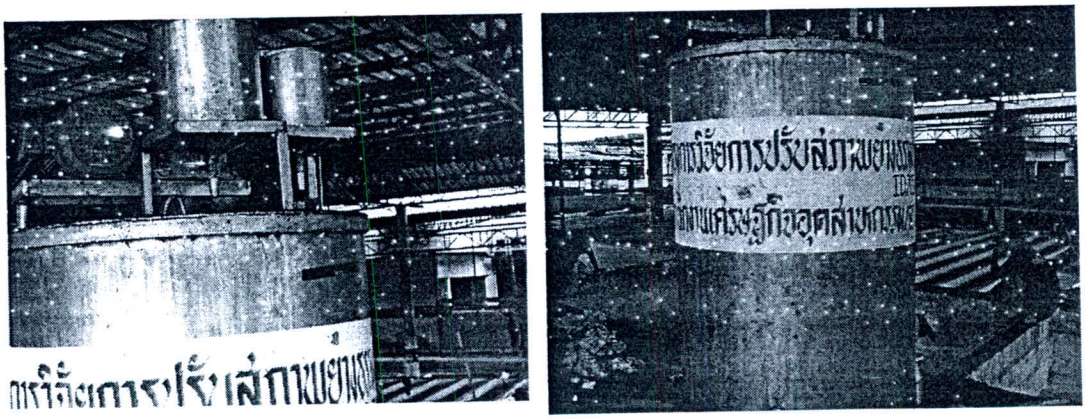
3.2.24 ตู้อบบ่มเร่งชนิด Gear Aging รุ่น GPHH – 200 สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 300 องศาเซลเซียสใช้ในการบ่มเร่งยางเพื่อทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ผลิตโดย บริษัท SPRI LIMITED ประเทศสหราชอาณาจักร

3.2.25 ถังกวนน้ำยางขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับเตรียมยางในปริมาณของน้ำยางสด 130 กิโลกรัม ลักษณะดังรูปที่ 3.9 ใบพัดมีลักษณะเป็นเกลียว หมุนด้วยระบบมอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า ประกอบด้วยวาล์วที่ปล่อยน้ำยางด้านใต้ถังผลิตโดย โรงกลึงปัตตานีการช่าง



รูปที่ 3.9 ถังกวนน้ำยางขนาด 200 ลิตร

3.2.26 ถังกวนน้ำยางขนาด 1000 ลิตร ใช้สำหรับเตรียมยางในปริมาณของน้ำยางสด 800 กิโลกรัม ลักษณะดังรูปที่ 3.10 ใบพัดมีลักษณะเป็นเกลียว หมุนด้วยระบบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ประกอบถังปล่อยสารด้านบน และวาล์วที่ปล่อยน้ำยางด้านใต้ถังผลิตโดย โรงกลึงปัตตานีการช่าง



รูปที่ 3.10 ถังกวนน้ำยางขนาด 1000 ลิตร

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทางกล

นำยางธรรมชาติในรูปแบบของยางแผ่นรมควัน และยางแท่ง STR 5L และ STR 20 บดด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง โดยเริ่มจากนำยางมาผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง หลังจากนั้นปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร แล้วบดยางเป็นเวลา 3, 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 30-40 °C ตั้งยางที่บดได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำยางที่ได้ไปทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล ความหนืดมูนนี่ ปริมาณเจล ปริมาณอัลดีไฮด์ ความอ่อนตัวเริ่มต้น และดัชนีความอ่อนตัว ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3 เพื่อนำสมบัติของยางที่ได้ไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยการเติมสารเคมี

3.3.2 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการใช้สารเคมีเติมลงในรูปของน้ำยางสด สารเคมีที่ใช้มีดังนี้

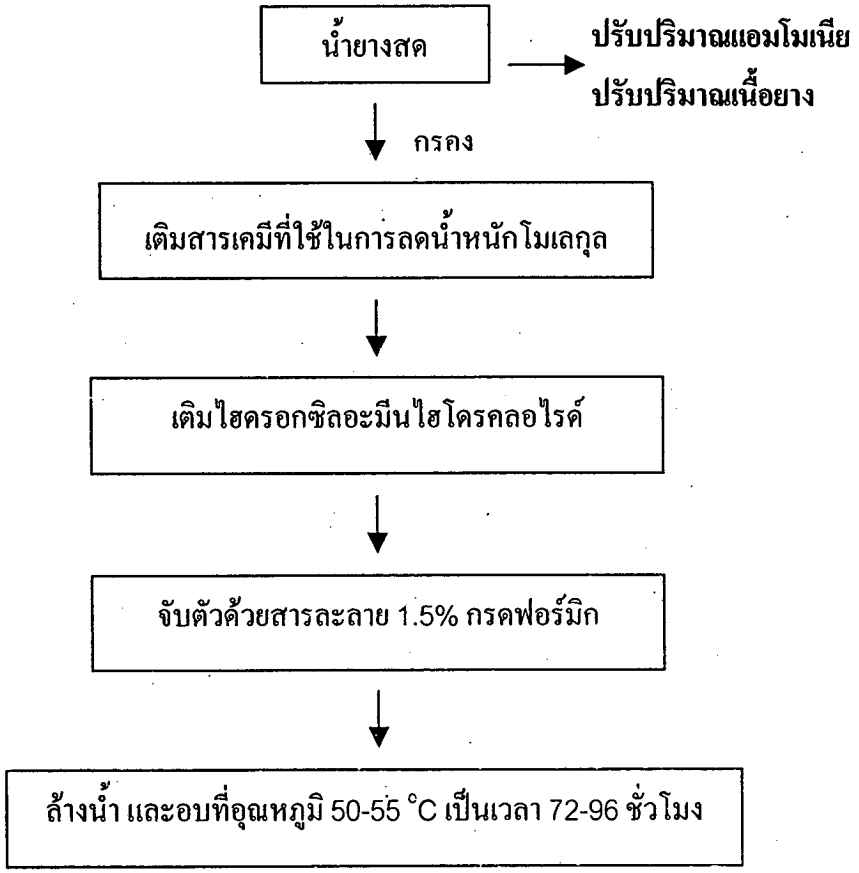
1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
3. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
5. ไนโตรเบนซีน
6. ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
7. สารย่อยยาง คือ HydroperseP50, Peptor 3S และ Renacit IV

3.3.2.1 การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์

3.3.2.1.1 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 phr ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม ก่อนการเตรียมนำน้ำยางสดมาหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content : DRC) เพื่อคำนวณปริมาณของสารเคมีที่ใส่ลงในน้ำยาง และปรับปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางให้มีค่าเท่ากับ 0.2% โดยการเติมสารละลายแอมโมเนีย 10% วิธีการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เริ่มจากเติมน้ำยางสดในขวดโหล ปรับปริมาณเนื้อยางแห้งเท่ากับ 30% เติมสารละลาย 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 phr (0.03 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) แล้วนำไปกวน หลังจากกวน 30 นาที เติมสารละลาย 10% โซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr (0.007 โมล) แล้วกวนต่อ แปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ก่อนการจับตัว 30 นาที เติมสาร

ละลาย 20% ไฮดรอกซิลอะมีน ไฮโรคลอไรด์ หลังจากกวนเสร็จ นำน้ำยางที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร จับตัวด้วยสารละลาย 1.5% กรดฟอร์มิก 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปรีดแผ่น ล้างน้ำ และอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 55-60 °C เป็นเวลาประมาณ 72-96 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล ความหนืดมูนนี่ ปริมาณเจล และปริมาณอัลดีไฮด์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3



รูปที่ 3.11 ลำดับการเติมสารเคมีในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ ในรูปน้ำยางสด

3.3.2.1.2 ผลของปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อโซเดียมไนไตรท์ เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 6 ชั่วโมง

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1.1 โดยแปรปริมาณระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อโซเดียมไนไตรท์ เป็น 0.2:0.1, 0.4:0.3, 0.8:0.5, 1.5:0.8 และ 2.0:1.0 phr และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.2 การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยใช้เพียงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 แต่ใช้เพียง 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณ 1 phr (0.03 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) และแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 1, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.3 การใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยใช้เพียงโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 แต่ใช้เพียง 10% โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ 1 phr (0.0037 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) และแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 1, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.4 การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

3.3.2.4.1 ผลของเวลาในการทำปกิกิริยาเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 โดยใช้ 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr (0.03 โมลต่อยางแห้ง 100 กรัม) ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.1 phr (0.03 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) ในการเตรียมจะเติม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 30 นาที และแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.4.2 ผลของปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 6 ชั่วโมง

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 โดยแปรปริมาณระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็น 1:1.35 , 1:2.70, 1:8.1 และ 1:13.5 phr (0.03:0.005, 0.03:0.01, 0.03:0.03 และ 0.03:0.05 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.4.3 ผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 6 ชั่วโมง

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 โดยแปรปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็น 0.03:0.27, 0.17:1.4, 0.34:2.7 และ 1.02:8.1 phr (0.001:0.001, 0.005:0.005, 0.01:0.01 และ 0.03:0.03 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.5 การใช้ไนโตรเบนซีน

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 แต่ใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณ 0.12, 0.61, 1.25 และ 2.46 phr (0.001, 0.005, 0.01 และ 0.02 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) และแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 6 และ 24 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.6 การใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ปริมาณของน้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยใช้ ฟีนิลไฮดราซีน ร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 เติมสารละลาย 50% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อ ฟีนิลไฮดราซีน และแปรปริมาณเป็น 0.03:0.14, 0.17:0.72 และ 0.34:1.45 phr (0.001:0.001, 0.005:0.005 และ 0.01:0.01 โมล ต่อยางแห้ง 100 กรัม) โดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก่อนที่จะเติมฟีนิลไฮดราซีน เป็นเวลา 30 นาที นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

3.3.2.7 การใช้สารย่อยยาง

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางสดโดยใช้สารย่อยยาง คือ HydroperseP50, เรนาซิส 4 (Renacit IV) หรือเปพตอร์ 3S (Peptor 3S) ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 เติมสารย่อยยาง ในรูปของของแข็งที่กระจายในน้ำ 50% (50% dispersion) ปริมาณ 1 phr โดยแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง นำยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.3

ตารางที่ 3.1 สูตรการเตรียมสารย่อยยาง 50% Dispersion

สาร	ปริมาณ (กรัม)
สารย่อยยาง	48
Bentonite	1
Valtamol	1
น้ำ	50

3.3.3 การทดสอบสมบัติของยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

3.3.3.1 การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนักของยางด้วยเครื่อง GPC

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของโพลิสไตรีน ให้มีความเข้มข้น 0.1% โดยใช้สไตรีนที่ทราบค่าของน้ำหนักโมเลกุล 5 ตัวอย่าง โดยให้มีช่วงของน้ำหนักโมเลกุล 1,000-1,000,000 เพื่อใช้ในการทำกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายของยางใน Tetrahydrofuran (THF) ให้มีความเข้มข้น 0.1% แล้วกรองด้วยตัวกรองขนาด 0.45 μm

2. เปิดก๊าซฮีเลียม และเปิดสวิทช์ตามลำดับ คือ Pump/Column oven/RI detector และ Integrator ตั้งอัตราการไหลของสารละลายผ่าน Column (ปกติจะตั้งค่าเป็น 1 ml/min) ความดันต่ำสุดที่ 0 psi และสูงสุดที่ 2900 psi จากนั้นรอจนกว่า Pump จะขึ้น Ready ตั้งอุณหภูมิของ Column ตามการใช้งานปรับ Purge on ประมาณ 10 นาที รอจนกว่า Optical balance ของ RI detector ให้อยู่ตรงกึ่งกลาง ถ้ายังไม่อยู่กึ่งกลางทำซ้ำอีกครั้ง แล้วจึงกดปุ่ม auto zero

3. ฉีดสารละลายโพลิสไตรีนมาตรฐาน เพื่อดูค่า Retention time (RT) ของแต่ละตัว โดยตั้งค่า Attend ที่ 1024 และตั้งค่า Level ที่ 900-1500 (ปรับโดยกด auto zero) เพื่อนำค่าที่ได้ไปทำ Calibration curve หลังจากได้ค่า RT แล้วจึงนำไปเขียนเป็น Calibration curve เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบกับสารละลายยางที่เตรียมได้

4. ฉีดสารละลายยางที่เตรียมได้ โดยใช้ หลอดฉีดยาดูดสารละลายยางมาประมาณ 0.025 ml ฉีดสารละลายยางเข้าสู่ Column อย่างรวดเร็ว จากนั้นปรับ inject port ไปทางขวาจนสุด หลังจากนั้นกด inject A ทันที เมื่อเวลาผ่านไป 0.30 นาที ให้บิดกลับมาทางซ้าย แล้วดึงหลอดฉีดยาออก เครื่องจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นค่าของน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายยางที่ได้

3.3.3.2 การหาน้ำหนักโมเลกุลจากความหนืดด้วยเครื่อง Capillary viscometer

1. เตรียมสารละลายยางในตัวทำละลาย (เบนซีน)ให้มีความเข้มข้น 0.5 กรัม/เดซิลิตร ให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าจนยางละลายหมด

2. ปิเปตสารละลายยางมา 25 มิลลิลิตร ลงในขวดหาปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมเบนซีนจนครบ 50 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารละลายยางมีความเข้มข้น 0.25 กรัม/เดซิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายยางให้มีความเข้มข้น 0.125 และ 0.063 กรัม/เดซิลิตรตามวิธีข้างต้น

3. ล้าง viscometer ด้วยเบนซีน 2-3 ครั้ง แล้วหาเวลาที่สารไหลผ่านตำแหน่งที่ขีดไว้ที่ตัว viscometer (effux time) ของเบนซีน (t_0) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 30 °C

4. ใช้สำลีกรองสารละลายยาง แล้วใส่ลงใน viscometer ล้าง 2-3 ครั้ง แล้วใส่สารละลายยางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 นาที แล้วหาค่า effux time ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.5, 0.25, 0.125 และ 0.063 กรัม/เดซิลิตร

5. คำนวณค่า relative viscosity, specific viscosity และ inherent viscosity ดังสูตรในตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า relative viscosity, specific viscosity และ inherent viscosity

Common name	Recommended name	Symbol and Define Equation
Relative viscosity	Viscosity ratio	$[_r = \eta/\eta_0 = t/t_0$
Specific viscosity	-	$\eta_{sp} = \eta_r\text{-}1 = (\eta\text{-}\eta_0)/\eta_0$
Reduce viscosity	Viscosity number	$\eta_{red} = \eta_{sp}/c$
Intrinsic viscosity	Logarithmic viscosity number	$\eta_{inh} = (\ln\eta_r)/c$
Inherent viscosity	Limiting viscosity number	$[\eta] = (\eta_{sp}/c) = [(\ln\eta_r)/c]_{c=0}$

6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_{sp}/c กับ c และ $(\ln\eta_r)/c$ กับ c แล้วหาค่า Intrinsic viscosity จากค่าความชันของกราฟ

7. คำนวณหาน้ำหนักโมเลกุล M จากสมการ Mark-Houwink-Sakurade equation

$$[\eta] = KM^a \qquad 3.1$$

เมื่อ η = Intrinsic viscosity

ในกรณีที่ใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 30 °C ค่า a = 0.74, K = 1.85×10^{-5} (Stevens, 1990)

3.3.3.3 การหาปริมาณอัลดีไฮด์ในยาง (Subramaniam, 1976)

1. ละลายตัวอย่างยาง 0.2 กรัม ในโทลูอีน 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด แล้วเติมสารละลาย 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน 0.05 กรัม ในเตตระไฮโดรฟิวเรนปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผ่านก๊าซไนโตรเจนบริเวณเหนือผิวของสารละลาย 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

2. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ลงไป 1 หยด แล้วผ่านก๊าซไนโตรเจนอีกครั้ง ปิดฝาให้สนิท นำสารวางในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3. ตกตะกอนโดยหยดสารละลายยางทีละหยดลงในเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลา นำยางที่ตกตะกอนได้ไปทำให้แห้ง โดยวางระหว่างแผ่นกระดาษกรอง 2 แผ่น แล้วใช้มือกดเบา ตัดยางเป็นชิ้นเล็กๆ ละลายในโทลูอีน 10 มิลลิลิตร ทิ้งให้ละลาย ตกตะกอนอีกครั้ง โดยหยดสารละลายยางทีละหยดลงในเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ตกตะกอนซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อขจัด 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน ส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกไป

4. นำยางที่ได้ไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตั้งไว้จนน้ำหนักคงที่นำยางที่ได้ไปละลายในเตตราไฮโดรฟิวเรนให้ได้ความเข้มข้น 0.6% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหาค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตด้วยเครื่อง UV/visible spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 360 nm ทำ blank ด้วยวิธีเดียวกันแต่ไม่ต้องเติม 2,4-ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ปริมาณอัลดีไฮด์ } (\times 10^{-4}\ \text{mol/dm}^3) = \text{Absorbance}/(C \times \varepsilon_o) \qquad 3.2$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลายยาง (% w/v)

ε_o คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน

3.3.3.4 การหาปริมาณเจลในยาง

วิธีการหาปริมาณเจลในยางมีดังนี้ ชั่งตัวอย่างยาง 0.5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ละลายในโทลูอีน 2 มิลลิลิตร ในหลอดเซนตริฟิวจ์ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีดูดสารละลายยางส่วนบนออกไป 10 มิลลิลิตร แล้ว

เติมโทลูอีนลงไปใหม่อีก 10 มิลลิลิตร เซนตริฟิวจ์ซ้ำอีก 3 ครั้ง นำยางที่เหลือไปตกตะกอนในเอทานอล 95% ปริมาตร 50 มิลลิลตร แล้วนำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักยางที่ได้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

การคำนวณ

$$\text{Gel (\%)} = (B/A)x100 \qquad 3.3$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักยางเริ่มต้น (กรัม)

B คือ น้ำหนักยางที่ตกตะกอนได้และอบแห้งแล้ว (กรัม)

3.3.3.5 การทดสอบความหนืดมูนนี่ของยางแห้ง

การทดลองอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1646-94 ซึ่งมีวิธีการทดสอบ ดังนี้ ตั้งอุณหภูมิห้องเสื้อของเครื่อง Mooney viscometer ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อุ่นโรเตอร์ในช่องใส่ยางเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วแบ่งยางที่เตรียมไว้ 25 กรัมออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน โดยแต่ละส่วนมีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 12.5 กรัม นำโรเตอร์ออกจากช่องใส่ยาง นำยางมาประกบด้านบนและด้านล่างของโรเตอร์ รองด้วยพลาสติกเซลโลเฟนอีกชั้น แล้วใส่กลับลงไปในช่องใส่ยางอุ่นยางเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเดินเครื่องให้โรเตอร์หมุนเป็นเวลา 4 นาที บันทึกค่าความหนืดที่เวลา 4 นาที

การบันทึกผล

$$\text{ความหนืด} = X\ ML\ 1{+}4\ (100\ ^{\circ}C) \qquad 3.4$$

เมื่อ X คือ ค่าความหนืดที่อ่านได้

ML คือ โรเตอร์ขนาดใหญ่

1 คือ อุ่นยางเป็นเวลา 1 นาที

4 คือ ทดสอบเป็นเวลา 4 นาที

100 °C คือ อุณหภูมิที่ทดสอบ

3.3.3.6 การทดสอบความอ่อนตัวและดัชนีความอ่อนตัว (Determination of Plasticity and Plasticity Retention Index ; PRI)

การทดลองอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3194-84 ทำการทดสอบดังนี้ ชั่งยางประมาณ 20±5 กรัม นำไปผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 1.9 มิลลิเมตร จำนวน 2 ครั้ง แล้วพับครึ่ง ทำให้เรียบด้วยลูกกลิ้งให้ได้ความหนา 3.2-3.6 มิลลิเมตร ตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบ 6 ชิ้น แบ่งเป็นชุดๆ ละ 3 ชิ้น ชุดแรกนำไปทดสอบโดยวางชิ้นทดสอบระหว่างกระดาษมวนบุหรี่ นำเข้าเครื่อง Wallace plastometer อัดชิ้นทดสอบ โดยแป้นโลหะกลมบนและล่างของเครื่องจะกดให้ชิ้นทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นแรง 10±0.1 กิโลกรัม จะอัดยางเป็นเวลา 15 วินาที อ่านค่าความอ่อนตัว (Plasticity) บนหน้าปัทม์ จะได้ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0) ส่วนชิ้นทดสอบชุดที่ 2 นำเข้าตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นทดสอบออกมาตั้งให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที นำไปหาค่าความอ่อนตัวเช่นเดียวกัน ค่าที่ได้เป็นค่า P_{30}

การคำนวณ

$$PRI\ (\%) = \frac{P_{30} \times 100}{P_0} \qquad 3.5$$

3.3.4 การศึกษาโครงสร้างของยางด้วยเครื่อง FTIR และ ^{1}H-NMR

3.3.4.1 การศึกษาโครงสร้างของยางด้วยเครื่อง Infrared Spectroscopy : FTIR

1. เตรียมสารละลายยางในอะซีโตนให้มีความเข้มข้นประมาณ 20%

2. เปิดเครื่องทิ้งไว้จนมีค่าพลังงานมากกว่า 85% วางเซลล์โซเดียมคลอไรด์ แล้วปรับค่า background ของเครื่องจนกราฟที่ได้เป็นเส้นตรง

3. หยดสารละลายยางที่เตรียมไว้ 1-2 หยดบนเซลล์โซเดียมคลอไรด์แล้วเกลี่ยให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 0.01 มิลลิเมตร แล้วนำเซลล์โซเดียมคลอไรด์ไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่ตัวทำละลายออกแล้วนำไปทดสอบ โดยทำการทดสอบทั้งในแนวแกน X และแกน Y

4. ปรับระดับของเลขคลื่นที่ต้องการทดสอบ ผลการทดสอบจะเป็นสเปกตรัมของสาร โดยในแกน Y เป็นค่าทรานส์มิทแทนซ์ (%) แกน X เป็นค่าเลขคลื่น (cm^{-1})

3.3.4.2 การศึกษาโครงสร้างของยางด้วยเครื่องเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy : ^{1}H-NMR)

1. ตัวทำละลายที่ใช้ในการละลายตัวอย่างยางไม่ควรมีอะตอมของไฮโดรเจน หรือถ้าหากมีก็ต้องไม่ไปรบกวนสัญญาณ ควรมีจุดเดือดต่ำเพื่อกำจัดออกง่ายเมื่อต้องการตัวอย่างคืน ซึ่งในการวิเคราะห์โครงสร้างของยางธรรมชาติจะใช้ตัวทำละลายเป็นดิวเทอเรดเตดคลอโรฟอร์ม ($CDCl_3$) ซึ่งจะมีสัญญาณที่ δ7.25

2. การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โครงสร้างจะเตรียมอยู่ในรูปของสารละลาย โดยให้มีความเข้มข้น 20-50 มิลลิกรัมในตัวทำละลาย 0.5 มิลลิลิตร

3. หลังจากเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะบรรจุสารละลายยางที่ได้ลงในหลอดขนาดเล็กเพื่อใส่ในเครื่อง ^{1}H NMR

4. ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง คือ แม่เหล็ก ที่ให้สนามแม่เหล็กที่มีความแรงและมีความสม่ำเสมอ เพื่อใช้ในการแยกสัญญาณที่ได้ สวีพเจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจนถึงจุดที่เกิดเรโซแนนซ์ คือ จุดที่โปรตอนดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องส่งความถี่คลื่นวิทยุ เพื่อให้โปรตอนทุกตัวในสารละลายสามารถเรโซแนนซ์ได้ เครื่องส่งความถี่คลื่นวิทยุ ทำหน้าที่ส่งความถี่คลื่นวิทยุในช่วงที่กำหนด เครื่องรับความถี่คลื่นวิทยุ เนื่องจากในขณะที่เกิดภาวะผ่อนคลายโปรตอนจะปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งส่วนหนึ่งจะออกมาในรูปของการแผ่รังสี ซึ่งจะถูกตรวจจับแล้วส่งต่อไปยังเครื่องขยายสัญญาณ เครื่องบันทึกสัญญาณ และเครื่องอินทิเกรเตอร์ จะรับสัญญาณที่ขยายแล้วแปรเป็นพลังงานกลแล้วเครื่องจะบันทึกไปตามแกน Y ในขณะเดียวกันจังหวะการกวาดสัญญาณของสวีพเจนเนอเรเตอร์จะเคลื่อนไปตามแกน X ดังนั้นกราฟที่ออกมาเป็นการพล็อตระหว่างพลังงานที่ถูกดูดกลืนและค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ตัวเลขในแกนนอนคือ ค่าเคมีคัลชิฟท์เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งเรโซแนนซ์ของสัญญาณ (δ)

3.3.5 การศึกษาผลของเวลาการเก็บต่อสมบัติของยาง

เก็บยางที่ใช้เตรียมเป็นยางตัวอย่างที่มีค่าความหนืดมูนนี่ (ML 1+4, 100°C) ประมาณ 50-60 และค่าของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400,000-500,000 โดยเลือกมาจากผลการทดลองดังหัวข้อที่ 3.3.5.1 มาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อติดตามค่าของน้ำหนักโมเลกุล ความหนืดมูนนี่ ปริมาณเจล และปริมาณอัลดีไฮด์ ตามหัวข้อที่ 3.3.3 สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงต่อระยะเวลาการเก็บ

3.3.6 การทดสอบสมบัติของยางดิบ

3.3.6.1 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Determination of Nitrogen Content)

การทดลอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3533-90 มีวิธีการทดสอบดังนี้ ชั่งยาง 0.1 กรัม (ความละเอียด 0.0001 กรัม) ใส่ในขวดแก้วสำหรับย่อยยาง เติมสารตัวเร่งร่วมประมาณ 3 กรัม และกรดกำมะถัน 10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 380-400 °C จนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร นำสารที่ได้ไปเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40%โดยน้ำหนัก ปริมาตร 25 มิลลิลิตรแล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ส่วนที่รองรับสารที่กลั่นได้ประกอบด้วยสารละลายกรดบอริก 4% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร อินดิเคเตอร์ 4 หยด และน้ำกลั่น 20 มิลลิลตร เมื่อสารที่กลั่นได้มีปริมาตร 150 มิลลิลิตรแล้ว นำไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล ที่จุดยุติสารจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง ทำ blank เพื่อเปรียบเทียบ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_1-V_2)N \times 0.014 \times 100}{W} \qquad 3.6$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักของยาง (กรัม)

3.3.6.2 การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก (Determination of Dirt Content)

การทดลอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1278-91a มีวิธีการทดสอบดังนี้ นำยาง 15 กรัม มาผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.013 นิ้ว จำนวน 2 ครั้ง แล้วนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนได้ 10 กรัม และมีความละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำมันสนปริมาตร 250 มิลลิลิตร และสารเร่งการละลายยาง (Peptor) 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 140 °C ยกขวดมาแกว่งเป็นระยะเพื่อเร่งการละลาย เมื่อยางละลายหมดเทสารที่ได้ผ่านตะแกรงกรองที่สะอาดและแห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน ล้างสารที่ได้ด้วยน้ำมันสนที่ร้อนอีกครั้ง นำตะแกรงกรองไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้นและบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

ปริมาณสิ่งสกปรก (%) = (C – B)/Ax100 3.7

เมื่อ A คือ น้ำหนักยาง (กรัม)

B คือ น้ำหนักตัวกรอง (กรัม)

C คือ น้ำหนักตัวกรองหลังอบ (กรัม)

3.3.6.3 การทดสอบปริมาณเถ้า (Determination of Ash Content)

การทดลอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1278-91a มีวิธีการทดสอบดังนี้ ชั่งยางประมาณ 10 กรัม และมีความละเอียด 0.0001 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ในถ้วยทนความร้อนที่สะอาด แห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550±20 °C จนกระทั่งการเผาไหม้สมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้นและบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

ปริมาณเถ้า (%) = (C – B)/Ax100 3.8

เมื่อ A คือ น้ำหนักยาง (กรัม)

B คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อน (กรัม)

C คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อนกับเถ้าหลังอบ (กรัม)

3.3.6.4 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย (Determination of Volatile Matter Content ; VM)

การทดลอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1278-91a มีวิธีการทดสอบดังนี้ ชั่งยางประมาณ 10 กรัม นำไปผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.02 นิ้ว จำนวน 6 ครั้ง ตัดยางให้มีขนาด 5x5 เซนติเมตร ประมาณ 15-18 ตัวอย่าง แล้วเรียงยางในถาดอะลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 100±3 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำยางออกจากตู้อบแล้วนำยางแต่ละชิ้นใส่ในถุงพลาสติก พับปากถุง 3 ครั้ง พับครึ่งอีกครั้ง แล้วนำไปหนีบไว้กับที่หนีบเป็นเวลา 30 นาที นำยางออกจากถุงแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

ปริมาณสิ่งระเหย (%) = (A – B)/Ax100 3.9

เมื่อ A คือ น้ำหนักยาง (กรัม)

B คือ น้ำหนักยางหลังอบ (กรัม)

3.3.7 การทดสอบการไหลของยางด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี (Capillary Extrusion Rheometer)

โดยมีลำดับการทำดังนี้ เปิดเครื่อง Capillary extrution rheometer และคอมพิวเตอร์ ตั้งอุณหภูมิของกระบอก (Barrel) ตั้งอัตราการไหลของยาง (Shear rate) เป็น 10, 20, 50, 100, 200, 400 และ 800 s^{-1} ใส่ดายชนิด Long die ยาว 32 มิลลิเมตร (และ Zero die ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร) เข้ากับเครื่อง เตรียมยางตัวอย่างโดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ลงในกระบอก อัดยางเป็นระยะๆ เพื่อไล่อากาศออกทิ้งตัวอย่างยางไว้ในกระบอกเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด กด piston ลงมาเพื่อให้ตัวอย่างไหลออกมาเดินเครื่องทดสอบ พร้อมกับเก็บข้อมูลของค่าแรงเฉือนทำความสะอาดเครื่อง ถอดหัวดายออก แล้วนำข้อมูลไปประมวนผล เป็นค่าความเค้นเฉือนต่อค่าอัตราเฉือนจากสมการความสัมพันธ์ของ Bagley ดังนี้

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ความเค้นเฉือน, } \tau_w = \frac{P_L - P_0}{2L} \qquad 3.10$$

เมื่อ τ_w คือ ความเค้นเฉือน (Pa)

P_L คือ ความดันเมื่อใช้ Long die (Pa)

P_0 คือ ความดันเมื่อใช้ Zero die (Pa)

L คือ ความยาวของดาย (mm)

$$\text{ความหนืดเฉือน, } \eta = \tau_w / \gamma \qquad 3.11$$

เมื่อ η คือ ความหนืดเฉือน (Pa.s)

γ คือ อัตราเฉือน (s^{-1})

3.3.8 การทดสอบพลังงานในการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์

นำยางธรรมชาติดิบชนิด ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง STR 5L, STR CV 60 และ STR 20 และยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำในแต่ละวิธีที่เตรียมได้ มาทดสอบหาพลังงานในการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ โดยใช้สูตรในในการผสมตามตารางที่ 3.2 โดยใช้ค่าของ Fill factor เท่ากับ 0.75 ความเร็วของสกรู 60 รอบต่อนาที แล้วบันทึกค่าแรงบิด อุณหภูมิ และพลังงานทุกๆ 30 วินาที โดยใช้เวลาในการผสม 10 นาที ลำดับในการเติมสารเคมีดังนี้

ขั้นที่	ส่วนผสม	เวลาผสม (นาที)
1	บดยาง	2
2	เติม ZnO, Stearic acid และ TBBS	2
3	เติมเขม่าดำ	4
4	เติม Sulphur	2
5	นำยางออกมารีดแผ่น	-
	รวมเวลา	10

3.3.9 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติทางฟิสิกส์ของยางธรรมชาตินำ้หนักโมเลกุลต่ำ

3.3.9.1 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer

การทดลอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2084-93 มีวิธีการทดสอบดังนี้ นำยางคอมปาวด์ที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสน้ำหนักประมาณ 10 กรัม เตรียมการทดสอบโดยอุ่นห้องใส่ยางที่มีโรเตอร์อยู่ด้วยที่อุณหภูมิ 150 °C เลือกช่วงของแรงบิดและเวลาในการทดสอบ หลังจากที่เครื่องพร้อมสำหรับการทำงาน วางยางที่ตัดไว้บนโรเตอร์แล้วเปิดเครื่องให้ทำงาน โรเตอร์จะหมุนทำมุม 1 องศา หลังจากครบเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องจะบันทึกค่าออกมาในรูปของกราฟที่เราสามารบันทึกค่าต่างๆ ได้ ดังนี้ ระยะที่ยางเกิดการแข็งตัว (Scorch time:ts1) เวลาเป็นนาทีจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 1 lbf.in , ระยะที่ยางสุก (Cure time:t90) เวลาเป็นนาทีของค่าแรงบิด 90% ของแรงบิดสูงสุด, แรงบิดต่ำสุด (Minimum torque:M_L) และ แรงบิดสูงสุด (Maximum torque:M_H) โดยสูตรยางที่ใช้ในการทดสอบลักษณะของการวัลคาไนซ์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 สูตรยางตามมาตรฐาน ASTM D3184-89 Rubber-Evaluation of Natural Rubber

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)
ยางธรรมชาติ	100
ZnO	5.00
Sulphur	2.25
Stearic acid	2.00
HAF N330	35.00
TBBS	0.70

ลำดับการผสมสารเคมี

ขั้นที่	ส่วนผสม	เวลาบด (นาที)
1	ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.50 มม. แล้วบดยาง 2 ครั้ง	1
2	ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1.40 มม. นำยางเข้าบดให้พันลูกกลิ้งหน้า จนยางถูกบดนิ่มและเริ่มเรียบ	4
3	เติมกรดสเตียริก	2
4	เติมซิงค์ออกไซด์ ตัดยาง ¾ ของยางแต่ละด้าน ด้านละ 1 ครั้ง	2
5	เติมเขม่าดำประมาณครึ่งหนึ่ง ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 1.90 มม. แล้วตัดยาง ¾ ของยางแต่ละด้าน ด้านละ 1 ครั้ง แล้วเติมเขม่าดำที่เหลือ ตัดยาง ¾ ของยางแต่ละด้าน ด้านละ 1 ครั้ง	10
6	เติม ทีบีบีเอส และกำมะถันลงไป แล้วตัดยาง ¾ ของยางแต่ละด้านโดยสลับด้านซ้ายและขวา ด้านละ 3 ครั้ง	3
7	ตัดยางผสมสารเคมีออกจากลูกกลิ้ง ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.08 มม นำยางผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง ยางที่ผ่านลูกกลิ้งแต่ละครั้งม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ใส่ปลายข้างหนึ่งเข้าเครื่องในการบดครั้งต่อๆ ไป ส่วนครั้งที่ 6 รีดยางออกมาให้มีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม.	3
	รวมเวลา	25

หมายเหตุ : ยางที่มีการลดน้ำหนักโมเลกุลจะใช้เวลาบดตามขั้นที่ 2 เพียง 1 นาที

3.3.10 การทดสอบกระจายตัวของเขม่าดำด้วยเครื่องหาการกระจายตัวของเขม่าดำในพอลิเมอร์

ตัวอย่างเป็นยางวัลคาไนซ์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 4.5 มิลลิเมตร ยาว 4.0 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 การทดสอบ วางชิ้นทดสอบในที่ยึดชิ้นทดสอบ โดยหันด้านที่ตัดใหม่ๆเข้าหาช่องสแกน และควรวางชิ้นทดสอบในทิศทางเดียวกันกับการตัดเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนเนื่องจากรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวชิ้นทดสอบ ทำการทดสแกนชิ้นทดสอบจากนั้นเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นทดสอบแล้วทำการสแกนซ้ำ โดยค่าที่สแกนได้จะบอกเป็นค่า X ตั้งแต่ 1 ถึง 10 ซึ่งหมายถึงระดับของการกระจายของเขม่าดำ ถ้า X มีค่ามาก หมายถึงการกระจายของเขม่าดำที่ดี และค่า Y ตั้งแต่ 1 ถึง 10 จะหมายถึงขนาดของเขม่าดำที่จับตัวเป็นก้อน ถ้าค่า Y มากหมายถึงขนาดก้อนของเขม่าดำที่จับตัวมีขนาดเล็ก เมื่อทำการสแกนชิ้นทดสอบครบทั้ง 5 ชิ้นแล้วให้หาค่าเฉลี่ย X และ Y

3.3.11 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 37 – 1977 (E) ซึ่งมีวิธีทดสอบดังนี้ ใช้ทดสอบเป็นรูป dumb-bell นำยางตัวอย่างชิ้นทดสอบใส่ระหว่างที่จับเปิดเครื่อง ให้ดึงด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อนาที จดค่าแรงที่ใช้ดึงตามความยืดที่ต้องการ จดค่าแรงที่ขาด และระยะยืดที่ดึงจนขาด การคำนวณ

$$\text{Tensile strength (MPa)} = F/A \qquad 3.12$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (มิลลิเมตร^2)

$$\text{Elongation (\%)} = 100 \times (L - L_o)/L_o \qquad 3.13$$

เมื่อ L คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืดจนขาด (เซนติเมตร)

L_o คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางก่อนยืด (เซนติเมตร)

$$\text{300\% Modulus (MPa)} = F/A \qquad 3.14$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะยืด 300% จากระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (มิลลิเมตร^2)

3.3.12 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน B.S.903 : Part Aซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ นำชิ้นทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ไปทดสอบให้ครบ 500 รอบ ชั่งหาน้ำหนักและปริมาตรยางที่หายไป เพื่อหาจำนวนรอบที่จะ Running in และทดสอบจริง แล้วทำการ Running in และทดสอบจริง 5 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรยางที่หายไปเปรียบเทียบกับยางมาตรฐาน

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{Abrasion index} = (S/T) \times 100 \qquad 3.15$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรของมาตรฐานที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ

T คือ ปริมาตรของยางตัวอย่างที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ

3.3.13 การทดสอบ Compression set

การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D395-85 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ วัดความหนาก่อนทดสอบบริเวณกึ่งกลางของยางวัลคาไนซ์ 3 ตำแหน่ง ด้วยไมโครมิเตอร์ วัดความหนาของแท่งโลหะกั้นระยะและทำการอัดยางระหว่างแผ่นอัดทั้งสองให้ชิดแท่งโลหะกั้นขันเกลียวทั้ง 4 ด้านจนกระทั่งแผ่นอัดสัมผัสกั้น แล้วนำไปอบที่ 100 C° เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเอายางออกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของยางบริเวณกึ่งกลาง3 ตำแหน่งอีกครั้ง

<u>การคำนวณ</u>

$$C = [(t_o - t_i) / (t_o - t_n)] \times 100 \qquad 3.16$$

เมื่อ C คือ Compression set (%) t_o คือ ความหนาเดิมก่อนทดสอบ (mm.)

t_i คือ ความหนาของยางหลังอบ (mm.) t_n คือ ความหนาของแผ่นกั้น (mm.)

3.3.14 การทดสอบความแข็ง (Hardness Determination)

การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240- 86 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ใช้เครื่องมือวัดความแข็ง กดลงบนยางตัวอย่างหลายๆ ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งของยางจากหน้าปัทม์ของเครื่องแล้วหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้เป็นความแข็งของยางหน่วยเป็น Shore A ยางที่ได้ใช้ทดสอบมีความหนาประมาณ 8-10 มม. ความกว้างไม่น้อยกว่า 20 มม. ระยะจากขอบกำหนด

3.3.15 การทดสอบการกระเด้งตัวแบบเยิรสเลย์

ทดสอบความกระเด้งตัว ตามมาตรฐาน ASTM D945-79 โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นยางทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5±0.13 มม. สูง 12.5±0.25 มม. หรือมีพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างยางเท่ากับ 300 มม.^{2} ทำการทดสอบโดยนำยางมาวางตรงกลางแผ่น platen โดยใช้แผ่นกระดาษทรายรองทั้งข้างบนและข้างล่างก่อนทำการทดสอบจะต้องปรับสภาพชิ้นทดสอบโดยการกดคานด้านขวาให้ยางผิดรูปประมาณ 30 % แล้วปล่อย ทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นทดลองเพื่อทราบว่าจะต้องใช้ตุ้มน้ำหนักกี่อัน จึงจะมีแรงกดยางให้ผิดรูป 20% ก่อนใส่ตุ้มน้ำหนักให้ตรึงคานไว้เสียก่อน เมื่อใส่ตุ้มน้ำหนักแล้วจึงปลดที่ล็อกให้คานกดไปทางขวามืออย่างอิสระ หมุนคุม chronograph ให้ปากกาขีดเป็น zero reading แล้วจึงล็อกคานไว้อีกครั้ง กดสวิตซ์ให้กระดาษกราฟเดินแล้วปลดให้คานแกว่ง

การคำนวณ

$$\text{Yerzley resilience (\%)} = \left[(BC)/(AB)\right] \times 100 \qquad 3.17$$

โดย AB เป็นระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของอัมปลิจูดของคาบแรกของการแกว่งและ BC ก็เป็นค่าเดียวกันของคาบที่สอง

$$\text{Yerzley hysteresis} = 100 - \text{Yerzley resilience} \qquad 3.18$$

3.3.16 การทดสอบความทนทานต่อการหักงอแบบ De Mattia

ทดสอบตามมาตรฐาน B.S. 903:Part A10:1956 โดยกำหนดความรุนแรงของการแตกออกเป็น 10 ระดับ ซึ่งมาตาฐานนี้กำหนดระดับออกเป็นตัวอักษรตั้งแต่ A-K(ไม่มี I) โดยมีรายละเอียดดังนี้

Grade A มีรอยแตกเล็กๆน้อยกว่า 10 รอย กระจายไปบนผิวมองด้วยตาเปล่าจะไม่เห็นความลึกของรอยแตกนั้น

Grade B จำนวนรอยแตกเพิ่มขึ้น แต่มองไม่เห็นความลึกเช่นเดียวกัน รอยแตกนี้จะอยู่บริเวณตรงกลางของยาง และกระจายไปตลอดความกว้างของตัวอย่าง

Grade C ความลึกของรอยแตกเริ่มเห็นความกว้างกับความยาวของรอยแตก เมื่อถึงระดับนี้มักจะใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดความรุนแรงของความต้านทานต่อการหักงอ

Grade D รอยแตกจะอยู่บริเวณกลางเป็นส่วนใหญ่ รอยแตกบางอันขยายตัวรวมกัน

Grade E รอยแตกจำนวนมากจะรวมกันเหลือเพียงรอยแตกประมาณ 1 โหล โดยความยาวแต่ละรอยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และอัตราส่วนระหว่างความยาว/ความกว้างเท่ากับ 2 หรือ 3

ระดับนี้ถือว่ารุนแรงพอที่จะหยุดการทดลองเพื่อประเมินผลได้ ส่วนระดับ F-K เป็นเพียงแนวกำหนดไว้เท่านั้น

Grade F รอยแตกทั้งหลายรวมกันเป็นรอยแตกใหญ่อันเดียว พร้อมกับปล่อยผิวของยางบริเวณตรงกลางออกไป

Grade G รอยแตกขยายตัวออกไปตามความกว้าง

Grade H รอยแตกขยายตัวต่อไปตามด้านกว้างและรวมตัวกับรอยแตกเล็กๆไว้ด้วย

Grade J รอยแตกขยายตัวจนเกือบตลอดแนวของความกว้างของยาง

Grade K รอยแตกเต็มแนวความกว้างของยาง

มาตรฐาน B.S. 903:Part A10:1956 นี้ถือเกณฑ์ ระดับ C เป็นข้อกำหนดโดยให้วิธีการคำนวณเปรียบเทียบยางเข้าสู่ระดับ C โดยอาศัยจากการสังเกตพบว่า ถ้านำยางทำการทดสอบแล้วให้ได้จำนวนรอบ (kilocycles) ระดับหนึ่ง นำจำนวนรอบนั้นมาคิด logarithm โดยใช้ฐาน 10 แล้วนำค่าท่ได้มาทำการบวกหรือลบค่าคงที่เข้าไปจะทำให้สามารถทำนายจำนวนรอบที่ต้องใช้ในอีกระดับได้ ดังนั้นตัวอย่างยางทดสอบอันเดียวเมื่อทำการทดลอง สามารถคำนวณจำนวนรอบที่จะแตกในระดับ C ได้ โดยถ้าทดสอบได้ระดับ A หรือ B ก็ให้บวกค่าคงที่ก็ได้ระดับ C ถ้าทดสอบได้ระดับ D หรือ E ให้นำค่าคงที่ไปลบเพื่อให้ได้ระดับ C

ค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยนระดับ คือ

A	+0.35	D	-0.14
B	+0.15	E	-0.24
C	0.00		

3.3.17 การขยายระดับการผลิตยางควบคุมน้ำหนักโมเลกุลและควบคุมความหนืดระดับกึ่งอุตสาหกรรม

วิธีการเตรียมยาง

ทำการเตรียมในระดับน้ำยางสด 130 กิโลกรัม ในถังกวนขนาด 200 กิโลกรัม ดำเนินการที่บริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด โดยนำน้ำยางสดมาหาปริมาณเนื้อยางแห้งเพื่อคำนวณปริมาณของสารเคมีที่ใส่ลงในน้ำยาง และเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง (โซเดียมเมตตะไบซัลไฟต์) กวนผสม จากนั้นเติมสารลดน้ำหนักโมเลกุลยางที่เหมาะสมคือ HydroperseP50 โดยแปรระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 1, 3, และ 6 ชั่วโมง และแปรปริมาณของ HydroperseP50 ก่อนการจับตัวน้ำยาง 30 นาที เติมไฮดรอกซิลอะมีน แอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณ 0.4 phr กวนต่อ 30 นาที แล้วนำน้ำยางที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำสะอาด จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก 2.5% แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา

12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำยางที่ได้มาผ่านเครื่องรีดยางหลังจากนั้นก็จะป้อนยางเข้าสู่เครื่องเครพและเข้าสู่กระบวนการย่อยยางโดยระหว่างที่ผ่านกระบวนการย่อยยางได้มีการสเปรย์ด้วยน้ำมันละหุ่ง 0.03% ยางที่ย่อยเป็นเม็ดเล็ก ๆจะนำมาบรรจุใน ตะกงเพื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 110C° เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากการอบยางจนแห้งแล้วจะนำยางที่ได้มาอัดแท่งและนำไปทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล ความหนืด ปริมาณเจล ปริมาณอัลดีไฮด์และสมบัติของยางวัลคาไนซ์ต่อไป

เมื่อได้เทคนิคและปริมาณสารที่ใช้ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการขยายการผลิตเป็น 800 กิโลกรัม กวนในถังกวนผสมขนาด 1000 กิโลกรัม นำยางได้ไปทดสอบสมบัติการแปรรูปโดยกระบวนการคันยางการรีดแผ่นยาง และสมบัติทางกายภาพ เปรียบเทียบกับยางชนิดต่างๆ

3.3.18 การแปรรูปโดยกระบวนการ Extrusion

เป็นการทดสอบการคันยางผสมสารเคมี โดยการใช้ เครื่อง Cold Feed Extrution ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2230- 96 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ นำ Gravey die ไปติดตั้งที่หัวของเครื่องเอกซ์ทรูดแล้วขันยึด die ให้แน่นเปิดไอน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิของ die ประมาณ 110 ± 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของส่วนหัวประมาณ 110 ± 15 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน ส่วนอุณหภูมิของกระบอก (Barrel) เท่ากับ 70 ± 15 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิของของเหลวความคุมไว้ที่ 40 ± 5 องศาเซลเซียส ให้หมุนสกรูอย่างช้า ๆ ในขณะทำการอุ่นเครื่อง เมื่อได้อุณหภูมิตามต้องแล้วให้เดินเครื่องปรับรอบของสกรูโดยใช้ความเร็วรอบ 45 rpm เตรียมยางคอมปาวด์สูตรดังตารางที่ 3.3 โดยตัดเป็นแถบกว้างประมาณ 2 นิ้วแล้วใส่ไปในเครื่องเอกซ์ทรูด

3.3.19 การแปรรูปโดยการรีดแผ่นด้วยเครื่องรีดแผ่นยาง Calender

เป็นการทดสอบการรีดแผ่นยางผสมสารเคมีสูตรดังตารางที่ 3.3 ด้วยเครื่องรีดแผ่นยางสามลูกกลิ้ง Calender จัดให้อุณหภูมิของลูกกลิ้งทุกตัวเท่ากันหมด ประมาณ 70 ^{0}C จัดให้ระยะ nip ระหว่างลูกกลิ้งบนสุดกับลูกกลิ้งกลางให้ชิดกันขนาดเมื่อรีดยางออกมาได้ยางหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกลางกับลูกกลิ้งล่างให้กว้างเท่ากับ 1 มิลลิเมตรเช่นเดียวกัน

ทำการผ่านยางเข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งบนและกลาง แล้วนำแผ่นยางออกจากลูกกลิ้งกลาง แล้วค่อยๆ ขันให้ลูกกลิ้งล่างสัมผัสกับยางแล้วนำแผ่นยางออกจากลูกกลิ้งกลางโดยม้วนตลบออกมายังลูกกลิ้งล่าง สังเกตผิวของแผ่นยางที่ได้ วัดความหนาของแผ่นยางตลอดตามแนวความกว้าง

ขีดกากะบาดตามเส้นแนวตั้งและแนวนอน โดยเส้นทั้งสองยาวประมาณ 6 นิ้ว การขีดขณะที่ยางกำลังร้อนๆ เมื่อตั้งทิ้งยางให้เย็น ทำการวัดขนาดของความยาวของเส้นทั้งสอง