

บทที่ 3 วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ยางไนไตรล์หรือยางเอ็นบีอาร์

ยางเอ็นบีอาร์ที่ใช้เป็นเกรด JSR N220S ประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ (ACN) ปริมาตรร้อยละ 41.8 ความหนืดมูนี (Mooney viscosity) 55 ML 1+4 100 °C จากบริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด

3.1.2 ยางไนไตรล์ไฮโดรจิเนตหรือยางเอชเอ็นบีอาร์

ยางเอชเอ็นบีอาร์ที่ใช้เป็นเกรด Therban 3907 ประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ (ACN) ปริมาตรร้อยละ 39.6 และมีปริมาณพันธะคู่ร้อยละ 0.4 ความหนืดมูนี (Mooney viscosity) 69.9 ML 1+4 100 °C จากบริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด

3.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO) เกรด WHITE SEAL เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาคาไนซ์ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท ซีออน แอดวานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

3.1.4 ไดออกทิลฟทาเลต (Dioctyl phthalate; DOP)

สารเสริมสภาพพลาสติกไดออกทิลฟทาเลต หรือ DOP น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 390 มีลักษณะเป็นของเหลวใส ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท วิ.ซี.อุตสาหกรรม จำกัด

3.1.5 ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide; DCP)

สารบ่มสุกระบบเปอร์ออกไซด์ชนิด DCP 99% (Dicumyl peroxide) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงโมเลกุลยางเพื่อให้ยางบ่มสุก จากบริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด

3.1.6 ไตรเมทิลอลโพรเพนไตรเมทาไครเลต (Trimethylolpropane Trimethacrylate; TMPTMA)

สารช่วยบ่มสูก TMPTMA (Trimethylolpropane Trimethacrylate) ทำหน้าที่เป็นสารบ่มสุกร่วม (Co-agent) จากบริษัท เอ็มดีอาร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

3.1.7 สารต้านการเสื่อมสภาพจากออกซิเจน 6PPD (Antioxidant 6PPD)

6PPD (N-(1, 3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylene-diamine) ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางอันเนื่องมาจากออกซิเจนและโอโซน จากบริษัท เบ็นไมเยอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.8 ผงเขม่าดำ (Carbon black)

ผงเขม่าดำเป็นสารตัวเสริมแรงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง ในงานวิจัยนี้ใช้ผงเขม่าดำเกรด N660 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 49-60 นาโนเมตร พื้นที่ผิว 26-42 ตารางเมตร/กรัม ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลและกายภาพให้กับผลิตภัณฑ์ยาง จากบริษัท ไทยคาร์บอนแบล็ค จำกัด

3.1.9 ฟริชพิเตตซิลิกา (Precipitated silica)

ฟริชพิเตตซิลิกาเป็นสารประเภทสารเสริมแรง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ซิลิกาแบบตกผลึก (Precipitated) เกรด TOKUSIL 233 มีขนาด 50-100 ไมครอน ค่า pH 6.5-7.5 และมีค่า Bulk density 0.22 - 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากบริษัท โตกุยามา สยามซิลิกา จำกัด

3.1.10 สารคู่ควบ (Coupling Agent)

สารคู่ควบ (Coupling agents) ประเภทไซเลน (Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$ มีชื่อทางการค้า คือ Couplink 89 C ซึ่งเป็นประเภทสารคู่ควบไซเลนที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงผิวฟริชพิเตตซิลิกา เพื่อช่วยการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางกับสารเสริมแรง จากบริษัท เบ็นไมเยอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.11 น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol oil)

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ทางการค้าที่ใช้แข่งขังรูปในงานวิจัย มี 3 ชนิด ดังนี้ E10 (เอทานอล 10% ในน้ำมันเบนซิน), E20 (เอทานอล 20% ในน้ำมันเบนซิน) และ E85 (เอทานอล 85% ในน้ำมันเบนซิน) จากบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือ	รุ่น	บริษัทที่ผลิต	ประเทศ
1. เครื่องชั่งละเอียด	TE412-L	บริษัท Sartorius	เยอรมัน
2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)	230B	บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี่ จำกัด	ไต้หวัน
3. เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disk Rheometer; ODR)	GT 70-70-S2	บริษัท GOTECH Testing Machine	ไต้หวัน
4. เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer; MDR)	A 0225	บริษัท CG Engineering จำกัด	ไทย
5. เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Moulding Machine)	LP-25M	บริษัท Lab tech Engineering จำกัด	ไทย
6. เครื่องดัดขึ้นงานระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press Machine)	15 T	บริษัท SMC TOYO METAL จำกัด	ไทย
7. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)	Autograph AG-I 5kN	บริษัท Shimadzu จำกัด	ญี่ปุ่น
8. เครื่องวัดความแข็ง (Durometer)	GS-719G Type A	บริษัท Teclock จำกัด	ญี่ปุ่น
9. เครื่องทดสอบความหนืดมูนี (Mooney Viscometer)	Visc tech	บริษัท CG Engineering จำกัด	ไทย
10. เครื่องทดสอบการขัดสี (DIN Abrasion Machine)	ATH-40	บริษัท Hampden test Equipment จำกัด	อังกฤษ

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

อุปกรณ์และเครื่องมือ	รุ่น	บริษัทที่ผลิต	ประเทศ
11. เครื่องทดสอบการยุบตัวของวัสดุภายใต้แรงอัด (Compression set)	ตามมาตรฐาน ASTM D395-03		
12. เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer)	LMXS	บริษัท Lab tech Engineering จำกัด	ไทย
13. ตู้อบบ่มแรง (Aging oven)	GT-7017-L	บริษัท GOTECH Testing Machine	ไต้หวัน
14. เวอร์เนียสคาลิปเปอร์	Absolute digimatic	บริษัท Mitutoyo	ญี่ปุ่น

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

งานส่วนที่ 3.2.1

การศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้า

งานส่วนที่ 3.2.2

การศึกษาสัดส่วนการผสมของยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์

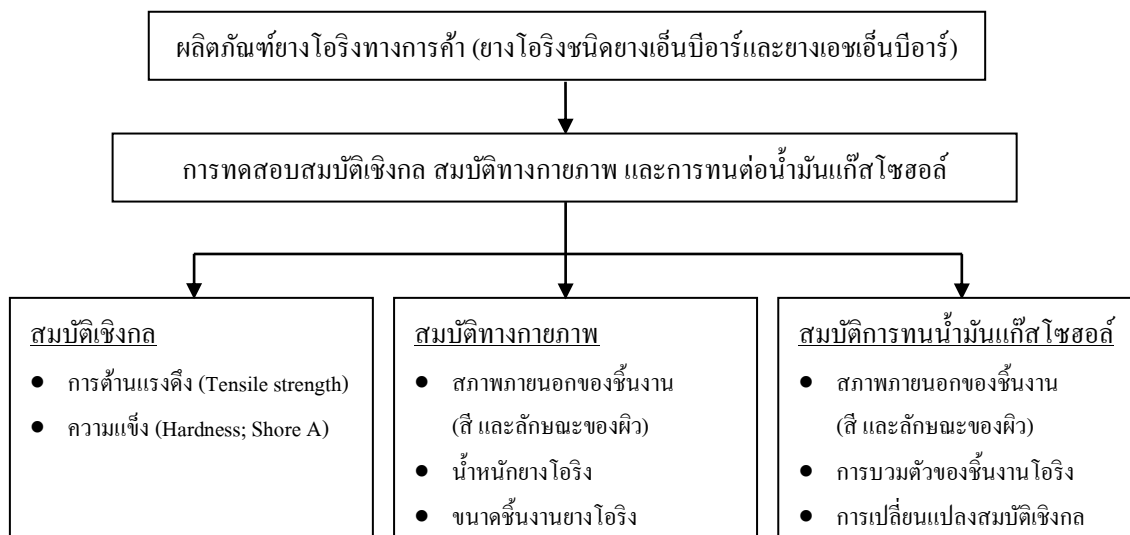
งานส่วนที่ 3.2.3

การศึกษาปริมาณผงฟริชิตเตดซิลิกาที่เติมในยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์

งานส่วนที่ 3.2.4

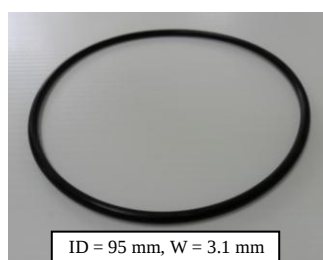
การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้า กับยางโอริงที่ได้จากงานวิจัย

งานส่วนที่ 3.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ของผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้า (ยางโอริงชนิดยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์)



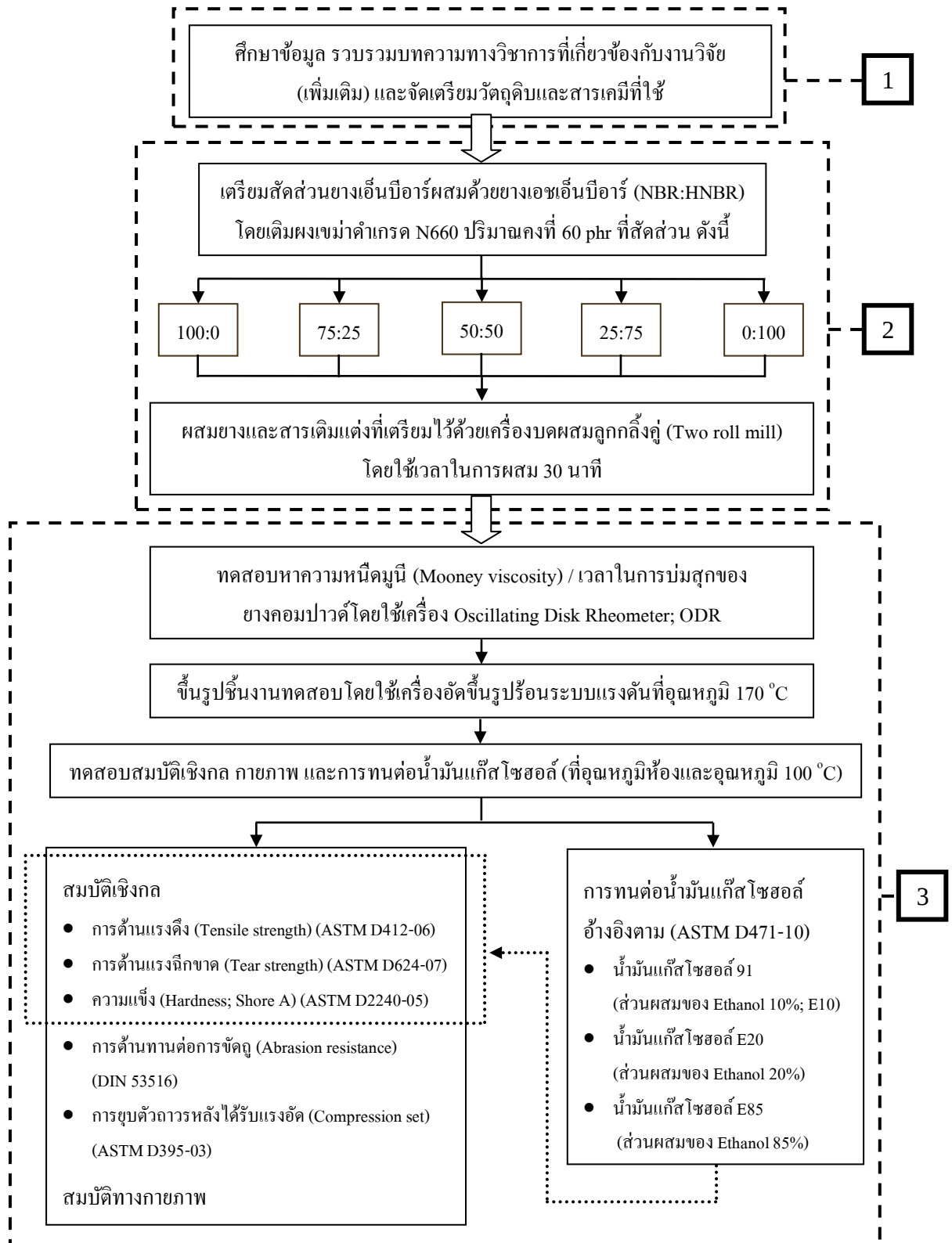
รูปที่ 3.1 การทดสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้าเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในงานวิจัย

จากรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้าชนิดยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ โดยทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้ การต้านแรงดึง และความแข็ง สมบัติทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตรวจสอบสภาพภายนอกของชิ้นงาน ดังนี้ ลักษณะของพื้นผิวและสีของชิ้นงานโอริง ซึ่งน้ำหนัก และวัดขนาดของชิ้นงาน และการทดสอบการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีส่วนผสมของเอทานอล ที่ปริมาณ 10, 20 และ 85 เปอร์เซ็นต์ โดยการตรวจสอบสภาพภายนอกของชิ้นงานโอริง การบวมตัว และการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลภายหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์แต่ละชนิด ซึ่งผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้าสำหรับใช้งานในระบบเชื้อเพลิงในรถยนต์ ชนิดยางเอ็นบีอาร์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท เพาเวอร์ซีล จำกัด และผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้าชนิดยางเอชเอ็นบีอาร์ จากบริษัท ท็อปพาร์ท เทคดิง (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า แสดงดังในรูปที่ 3.2 โดยมีขนาดความหนา (W) เท่ากับ 3.1 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) ประมาณ 95 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า

งานส่วนที่ 3.2.2 การศึกษาสัดส่วนการผสมของยางเอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นปีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์

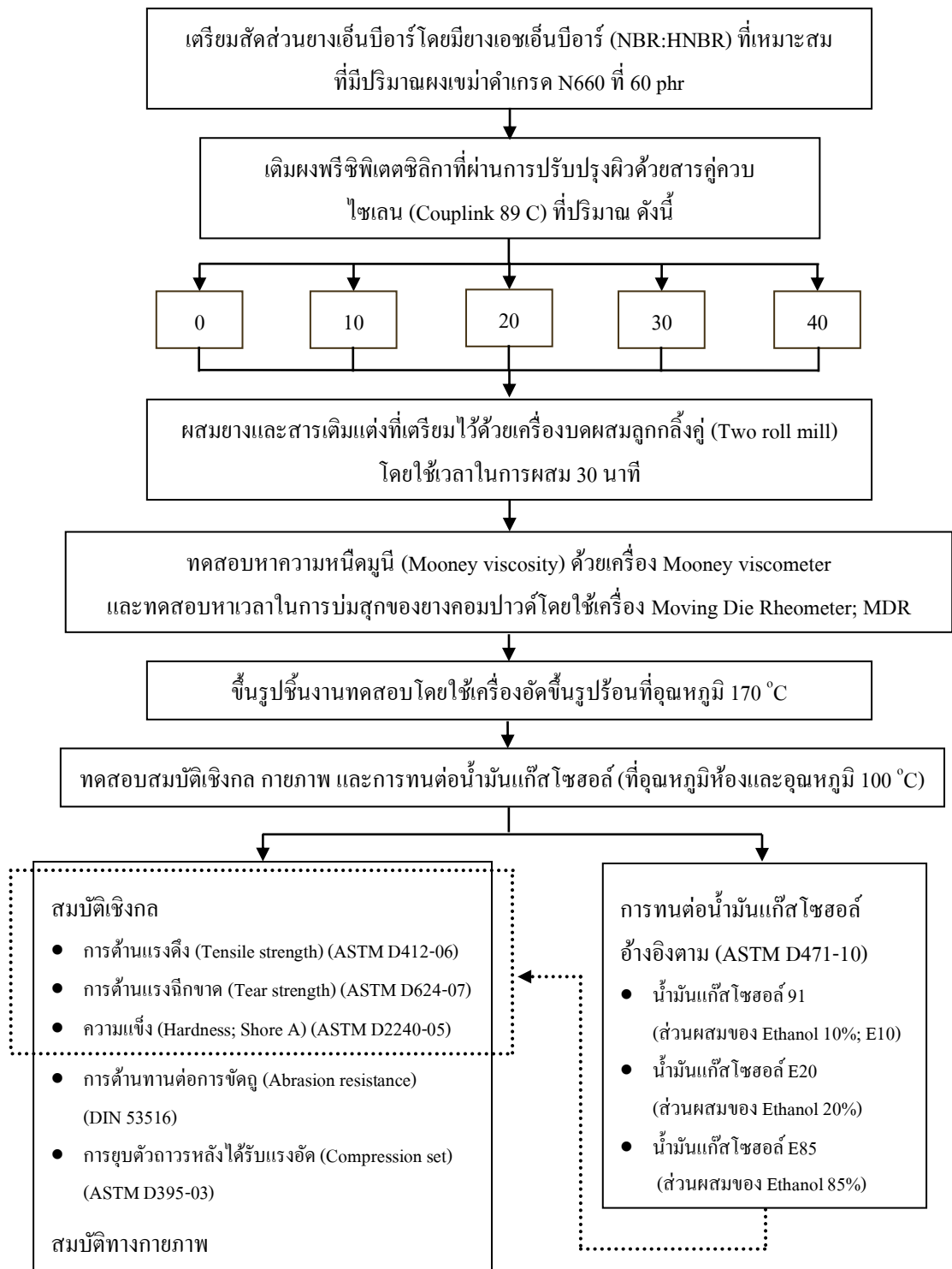


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณสัดส่วนของยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์

จากรูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการศึกษาปริมาณสัดส่วนของยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นปีอาร์ที่มีต่อสมบัติของวัสดุยางผสม ซึ่งการดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับโครงสร้างทางเคมี สมบัติ และการใช้งานของวัสดุยางเอ็นปีอาร์ยางเอชเอ็นปีอาร์ ผงฟริชพิเตตซิลิกา ผงเขม่าดำ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พร้อมกับการศึกษาระบบการคงรูปยางคอมปาวด์ด้วยเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้ในการงานวิจัย รวบรวมบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และดำเนินการจัดหาวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้ ยางเอ็นปีอาร์ ยางเอชเอ็นปีอาร์ ผงเขม่าดำ ผงฟริชพิเตตซิลิกา และสารเคมีในระบบการวัลคาไนซ์ ดังรายละเอียดใน งานหมายเลข 1 จากนั้นจัดเตรียมยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ที่สัดส่วน ดังนี้ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 และเติมผงเขม่าดำเกรด N660 ที่ปริมาณคงที่ 60 phr โดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ในการผสม ดังรายละเอียดใน งานหมายเลข 2 จากนั้นทดสอบหาความหนืดมูนีและเวลาในการบ่มสุกของยางคอมปาวด์โดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer; ODR เพื่อนำเวลาในการบ่มสุกยางที่ได้จากการทดสอบ ไปใช้ในการขึ้นรูปแผ่นยางด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน และขึ้นรูปชิ้นงานยางผสมตามมาตรฐานทดสอบ และทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ดังรายละเอียดใน งานหมายเลข 3 โดยการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้ การต้านแรงดึง การต้านแรงฉีกขาด การต้านทานต่อการขีดข่วน ความแข็ง และการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และการทดสอบด้านการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทางการค้า ที่มีส่วนผสมของเอทานอลในน้ำมันเบนซินที่ปริมาณ 10 (E10), 20 (E20) และ 85 (E85) เปอร์เซ็นต์

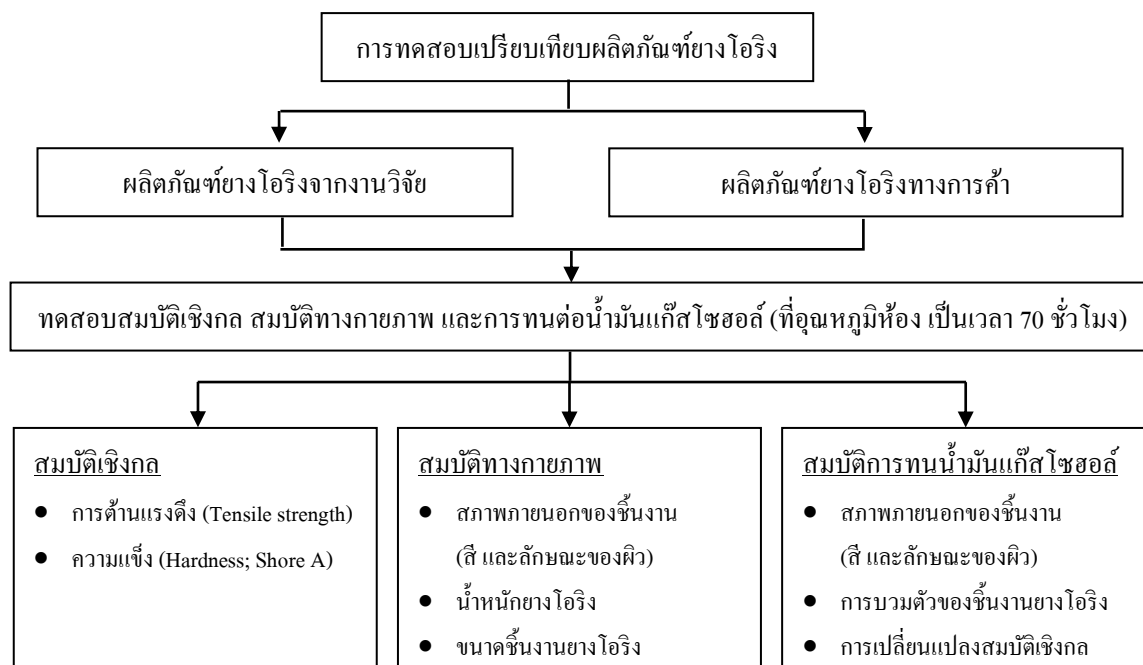
นอกจากนี้ ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารตัวเติมชนิดฟริชพิเตตซิลิกา ที่ผสมอยู่ในวัสดุยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยรวม และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของชิ้นงานวัสดุยางผสม เพื่อให้มีสมบัติเชิงกล และมีความทนทานต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เทียบเท่าหรือสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า ซึ่งในงานวิจัย ได้กำหนดให้ผงเขม่าดำที่ปริมาณคงที่ 60 phr เป็นสารเติมแต่งหลักที่มีปริมาณคงที่ในยางผสม และเติมผงฟริชพิเตตซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณผงฟริชพิเตตซิลิกาที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 phr ดังแสดงขั้นตอนในรูปที่ 3.4

งานส่วนที่ 3.2.3 การศึกษาปริมาณผงฟริชพิเตดซิลิกาที่เติมในยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณของผงฟริชพิเตดซิลิกาที่เติมในยางผสม NBR:HNBR

งานส่วนที่ 3.2.4 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ของผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้า กับยางโอริงจากงานวิจัย



รูปที่ 3.5 การทดสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับยางโอริงทางการค้า

จากรูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับยางโอริงทางการค้า โดยการเลือกสูตรยางจากงานวิจัยที่เหมาะสม ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานโอริงด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน และทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ เช่นเดียวกับการทดสอบชิ้นงานผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมปรับปรุงผิวพรีซิพิเตตซิลิกาที่ใช้ในการวิจัย

การนำสารเติมแต่งพรีซิพิเตตซิลิกาผสมในยางผสม ทำการปรับปรุงผิวโดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphide (Couplink 89 C), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$ โดยมีขั้นตอนการปรับปรุงผิวพรีซิพิเตตซิลิกา [4] ดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารคู่ควบไซเลน Couplink 89 C ที่ปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซิลิกา
2. เตรียมเอทานอลในอัตราส่วน 100 มิลลิลิตรต่อซิลิกา 100 กรัม
3. เติมน้ำคู่ควบไซเลน Couplink 89 C ลงในเอทานอล และกวนสารละลายด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก เป็นเวลา 30 นาที
4. นำฟริชปีเตตซิลิกาและสารละลายระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเอทานอล ผสมในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer) ดังรูปที่ 3.6 จากนั้นจึงทำการปั่นผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
5. ทำการอบฟริชปีเตตซิลิกาที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนแล้วในตู้อบ ดังรูปที่ 3.7 เพื่อให้เอทานอลแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.6 เครื่องผสมระบบปิดความเร็วสูง



รูปที่ 3.7 ตู้อบ

3.4.2 การเตรียมยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์

จัดเตรียมยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ ที่สัดส่วนยางเอ็นปีอาร์:ยางเอชเอ็นปีอาร์ ดังนี้ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 และเติมผงเขม่าดำเกรด N660 ปริมาณ 60 phr โดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในการผสมเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งสูตรยางมีส่วนประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และขั้นตอนการผสมแสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.8 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบสูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	หน้าที่	ปริมาณ (phr)*
1. ยางเอ็นบีอาร์ (เกรด JSR N220S) : ยางเอชเอ็นบีอาร์ (เกรด Therban)	เมทริกซ์	100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ส่วน
2. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	5.0
3. ผงเขม่าดำ (Carbon black) เกรด N660	สารเสริมแรง	60.0
4. Dioctyl phthalate (DOP)	สารเสริมสภาพพลาสติก / สารช่วยในกระบวนการผลิต	8.0
5. Dicumyl peroxide (DCP)	สารบ่มสุก	7.5
6. Trimethylolpropane Trimethacrylate (TMPTMA)	สารช่วยร่วมในการบ่มสุก ยาง	12.0
7. Antioxidant 6PPD (Santoflex 6PPD)	สารป้องกันออกซิเจนและ โอโซน	2.0
8. ฟริชปีเตตซิลิกา (Precipitated silica; PSi) เกรด Tokusil 233	สารเติมแต่ง / สารเสริมแรง	ปรับเปลี่ยนปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40

* phr: parts per hundred of rubber by weight

ตารางที่ 3.3 ขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์

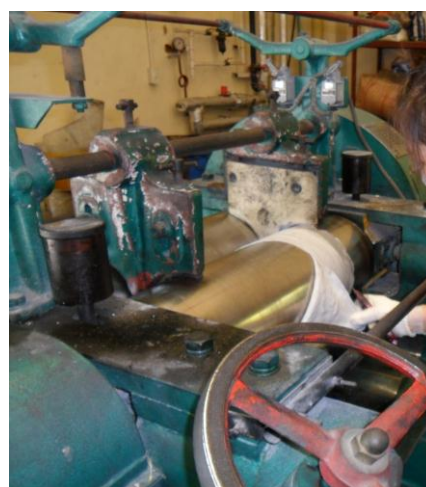
ขั้นตอนลำดับการเติมสารเคมี	เวลาที่ใช้ (นาที)
1. ยางเอ็นปีอาร์ : ยางเอชเอ็นปีอาร์ (เกรด High Nitrile Rubber : ACN 40%)	4
2. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)	2
3. ผงเขม่าดำ ฟริชพิเตตซิลิกา และ Dioctyl phthalate (DOP)	10
4. Trimethylolpropane Trimethacrylate (TMPTMA)	4
5. Antioxidant 6PPD	3
6. Dicumyl peroxide (DCP)	7
เวลาที่ใช้ทั้งหมด	30

3.4.2.1 ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี

1. ชั่งน้ำหนักยางและสารเคมีให้ได้ปริมาณตามสูตรที่ต้องการบดผสม
2. เปิดเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้เหมาะสม
3. ทำการบดผสมยางเอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นอาร์ และสารเคมีด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ดังรูปที่ 3.9 โดยมีลำดับขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3
4. ใช้มีดกรีดยางสลับกันระหว่างกรีดจากทางด้านขวาและด้านซ้าย พร้อมทำการพับยางคอมปาวด์ไปมา เพื่อให้สารเคมีผสมกับยางอย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 3.10
5. รีดยางออกจากเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ วางให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น



รูปที่ 3.9 การบดผสมยางกับสารเคมี



รูปที่ 3.10 การกรีดพับยางกับสารเคมี

3.4.3 การตรวจสอบสมบัติการไหลและการบ่มสุกของยางคอมปาวด์

3.4.3.1 การตรวจสอบหาเวลาในการบ่มสุกยาง

นำวัสดุผสมยางคอมปาวด์ระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ ที่ได้จากเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ไปทดสอบหาเวลาในการบ่มสุก (Cure time) ที่ 90% (tc_{90}) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disk Rheometer; ODR) จากบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ดังรูปที่ 3.11 และเครื่องรีโอมิเตอร์แบบค้ายเคลื่อนที่ (Moving Die Rheometer; MDR) ดังรูปที่ 3.12 ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิทดสอบ 170 °C



รูปที่ 3.11 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง



รูปที่ 3.12 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบค้ายเคลื่อนที่

3.4.3.2 การหาความหนืดมูนี (Mooney viscosity)

ตรวจสอบสมบัติด้านการไหล โดยวิธีหาความหนืดมูนีของยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ โดยใช้เครื่องวัดความหนืดของยางคอมปาวด์ (Mooney viscometer) ดังรูปที่ 3.13 ในการทดสอบหาความหนืดของยางคอมปาวด์ ซึ่งใช้สภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิทดสอบ 100 °C และให้ความร้อน 1 นาที ก่อนเริ่มหมุนจานโลหะ และทำการอ่านค่าความหนืดมูนี เมื่อจานโลหะหมุนไป 4 นาที ตามมาตรฐาน ASTM D1646-00



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความหนืดของยางคอมปาวด์ (Mooney viscometer)

3.4.4 การขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง

จากเวลาในการบ่มสุกยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ที่ 90% ของแต่ละสัดส่วน การผสมจากเครื่อง ODR นำมาใช้เป็นเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด ดังรูปที่ 3.14 โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 170°C ใช้แรงดันแม่พิมพ์ที่ 160 กก./ตร.ซม. และเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติ ดังนี้ ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด และการต้านทานการขาด โดยเลือกใช้แม่พิมพ์ตามลักษณะของ ชิ้นงานทดสอบที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ก-ง)



รูปที่ 3.14 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบแรงดัน



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.15 ลักษณะแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ (ก) ความต้านทานต่อการขัดถู (ข) การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด (ค) ชิ้นงานแผ่นทดสอบ (ง) ชิ้นงานโอริง

3.4.5 การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุยางผสม

- ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด

ในงานวิจัยนี้ตรวจสอบสมบัติความต้านแรงดึงของยางเอ็นบีอาร์ ที่ผสมด้วยยางเอชเอ็นบีอาร์ที่สัดส่วนต่างๆ ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลัก และการตรวจสอบความต้านแรงดึงของยางผสมทั้งก่อนและภายหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยมีการควบคุมอุณหภูมิทดสอบที่ 25 °C ความเร็วในการดึงคงที่ 500 มม./นาที ตัดชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วยแม่แบบกดตัดเป็นรูปดัมเบลล์ (Die C) ทดสอบค่ามอดุลัส ความต้านทานแรงดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 และทดสอบความต้านแรงฉีกขาด โดยตัดชิ้นงานทดสอบแบบแองเกิล (Angle specimen) ชนิด Die C ตามมาตรฐาน ASTM D624-07



รูปที่ 3.16 เครื่อง Universal Testing Machine

- ค่าความแข็ง (Hardness Shore A)

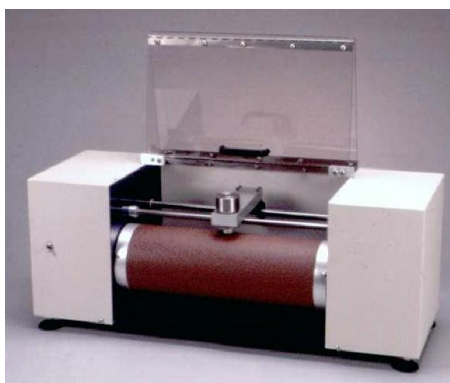
ในงานวิจัยนี้ทดสอบค่าความแข็งของแผ่นยางผสมที่คงรูป โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ดังรูปที่ 3.17 ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240-05 Shore A



รูปที่ 3.17 เครื่อง Durometer

- ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการต้านต่อการขัดถู โดยใช้เครื่องทดสอบ DIN abrader จากบริษัท Hampden Test Equipment จำกัด ดังรูปที่ 3.18 ตามมาตรฐาน DIN 53516



รูปที่ 3.18 เครื่อง DIN Abrasion Machine

- การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด (Compression set)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัดของแผ่นยางผสมที่คงรูปตามมาตรฐาน ASTM D395-03 ทดสอบโดยวัดความหนาชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ (t_0) แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างเข้าในแม่พิมพ์อัดไปวางระหว่างเครื่องอัด ดังรูปที่ 3.19 โดยชิ้นงานตัวอย่างถูกอัดให้ยุบตัวลงจากเดิม 25% (t_n) ให้ชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในสภาพมีแรงอัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วคลายแรงอัดปล่อยให้ชิ้นงานตัวอย่างคืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (t_f) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$C_B = \frac{t_0 - t_f}{t_0 - t_n} \times 100 \quad (3.1)$$

C_B = การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด (Compression set), เปอร์เซ็นต์

t_0 = ขนาดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ, มิลลิเมตร

t_f = ขนาดความหนาสุดท้ายที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานตัวอย่าง, มิลลิเมตร

t_n = ขนาดความหนาที่กดทับไว้ 25%, มิลลิเมตร



รูปที่ 3.19 ชุดทดสอบการยุบตัวหลังได้รับแรงอัด

3.4.6 การตรวจสอบสมบัติการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์

3.4.6.1 การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการต้านทานการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 70 ชั่วโมง และทดสอบสมบัติการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิด E10, E20 และ E85 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง โดยตัดชิ้นงานในการทดสอบการบวมตัวขนาดความกว้าง 2.5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D471-10 ดังแสดงวิธีการทดสอบในรูปที่ 3.20 แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของชิ้นงาน ดังแสดงสูตรคำนวณในสมการที่ 3.2

$$\% \text{ Swelling} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการแช่น้ำมัน, กรัม

W_2 = น้ำหนักของชิ้นงานภายหลังการแช่น้ำมัน, กรัม



รูปที่ 3.20 การทดสอบการบวมตัวของชิ้นงานยางผสมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์

3.4.6.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลภายหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยการตัดชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ และแบบแองเกิล ชนิด Die C แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิด E10, E20 และ E85 ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.21 จากนั้นเมื่อครบกำหนดนำชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบความต้านแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 และทดสอบความต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624-07 นอกจากนี้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานรูปแบบโอริงในสถานะเช่นเดียวกับการทดสอบดังกล่าวข้างต้นด้วย ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 การแช่ชิ้นงานทดสอบในรูปแบบดัมเบลล์ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์



รูปที่ 3.22 การแช่ชิ้นงานทดสอบในรูปแบบโอริงในน้ำมันแก๊สโซฮอล์

3.4.7 การทดสอบบ่มเร่งสภาวะขึ้นงานด้วยความร้อน (Thermal aging)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของชิ้นงานยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นปีอาร์ เพื่อศึกษาการทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนของยางคงรูป โดยนำชิ้นงานไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D573-04 โดยให้ชิ้นงานแขวนไว้กับแกนเหล็กที่หมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ เพื่อให้ยางคงรูปในรูปแบบคัมเบลล์ และแบบแองเกิล (Die C) สัมผัสกับอากาศร้อนในทุกทิศทางอย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 3.23 จากนั้นหลังการบ่มเร่งเสร็จสิ้น จึงนำชิ้นงานออกจากตู้อบมาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้านความต้านทานแรงดึง และความต้านทานแรงฉีกขาดที่เปลี่ยนแปลง เปรียบเทียบกับสมบัติของยางก่อนทำการอบ



รูปที่ 3.23 การบ่มเร่งสภาวะขึ้นงานยางคงรูปด้วยความร้อนในตู้อบ