

บทที่ 3 วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ยางอะครีโลไนไตรต์บิวตะไดอิน (ยางไนไตรต์หรือยางเอ็นบีอาร์)

ยางเอ็นบีอาร์เกรด KYRNAC 3345F มีปริมาณ ACN ร้อยละ 33.5 จากบริษัท เคมีคอล อิน โนเวชั่น ประเทศไทย จำกัด

3.1.2 สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ เกรด WHITE SEAL เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท ไทยไลสางท์ประเทศไทย จำกัด

3.1.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid)

สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก เกรด ST-DDK เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท อิมพีเรียล อินคัสเทรียล เคมีคอล ประเทศไทย จำกัด

3.1.4 สารเร่งปฏิกิริยาไดเบนโซไทโซล ไดซัลไฟด์ (Dibenzothiazole disulphide; MBTS)

MBTS ที่ใช้เกรด PERKACT เป็นตัวเร่ง (Accelerator) ให้ตัวกระตุ้นเกิดปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากบริษัท ซีออน แอคควานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

3.1.5 สารเร่งปฏิกิริยาเทตระเมทิลไทูรามไดซัลไฟด์ (Tetramethyl Thiuramdisulfide; TMTD)

TMTD ที่ใช้เป็นเกรด PERKACIT เป็นตัวเร่ง (Accelerator) ช่วยเร่งให้ตัวกระตุ้นเกิดปฏิกิริยา มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากบริษัท ซีออน แอคควานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

3.1.6 สารบ่มสุกกัมมะถัน (Sulphur)

กัมมะถัน (Sulphur) ขนาด 325 mesh เป็นสารคงรูปยางในกระบวนการผลิตยาง โดยเชื่อมระหว่างสายโซ่โมเลกุลให้เกิดพันธะข้าม (Cross-link) ในยาง จากบริษัท ซีออน แอดวานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

3.1.7 ผงเขม่าดำ (Carbon black)

ผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งประเภทสารเสริมแรงที่ใช้มากทางการค้า ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกล และกายภาพให้กับผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งผงเขม่าดำที่ใช้เป็นเกรด N 550 จากบริษัท ไทยคาร์บอนแบล็ค จำกัด

3.1.8 ซิลิติน (Sillitin)

ซิลิตินเป็นสารตัวเติมเกิดจากแร่ Quartz และแร่ Kaolinite ในงานวิจัยนี้ใช้ซิลิตินเกรด Z86 ชนิดไม่ปรับปรุงผิว และเกรด PF 216 ที่มีการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบ (Coupling agents) ประเภทไซเลน (Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$, (Couplink 89 C) มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2-10 ไมครอน และมีค่า Bulk density 2.6 กรัม/ลบ.ซม. จากบริษัท เป็นไมเออร์ เคมีคอล (ที) จำกัด ประเทศไทย

3.1.9 พรีซิพิเตตซิลิกา (Precipitated silica)

พรีซิพิเตตซิลิกาหรือซิลิกาแบบตกตะกอน (Precipitated) เป็นสารประเภทสารเสริมแรง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ เกรด TOKUSIL 233 มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 10-20 นาโนเมตร ค่า pH 6.8 และมีค่า Bulk density 0.232 กรัม/ลบ.ซม. จากบริษัท โตกุยามา สยามซิลิกา ประเทศไทย จำกัด

3.1.10 เถ้าลอย (Fly ash)

เถ้าลอย (Fly ash) เป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ (By product) จากการเผาถ่านหินในโรงงานผลิตไฟฟ้า มีซิลิกาประมาณ ร้อยละ 30 และโลหะออกไซด์ประมาณ ร้อยละ 70 ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารตัวเติมใน

ผลิตภัณฑ์ยาง ในงานวิจัยนี้ใช้ถ้ำลอยจากถ่านหินลิกไนต์ (แม่เมาะ) จังหวัดลำปาง ทำการคัดขนาดอนุภาคไม่เกิน 125 ไมครอน ถ้ำลอยมีความหนาแน่น 2.65 กรัม/ลบ.ซม. จากบริษัท เค เอ็น อาร์ กรู๊ป จำกัด

3.1.11 สารคู่ควบไซเลน

สารคู่ควบ (Coupling agents) ประเภทไซเลน (Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$, (Couplink 89C) ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงผิวถ้ำลอยและพรีซิพิตเตชันซิลิกา เพื่อช่วยการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางกับสารเติมแต่ง จากบริษัท เบ็น ไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด ประเทศไทย

3.1.12 น้ำมันอะโรมาติก

น้ำมันอะโรมาติก เกรด E101 เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นสารที่ใช้เพื่อช่วยกระบวนการผสมระหว่างยางกับสารตัวเติม จากบริษัท เอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

3.1.13 อะซีโตน (Acetone)

อะซีโตน เกรด ACS, ISO, Reag. Ph Eur เป็นของเหลวระเหยง่ายมีจุดหลอมเหลว -95.4 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 56.53 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นตัวทำละลายยางคอมปาวด์เอ็นบีอาร์เพื่อทดสอบ Bound rubber จากบริษัท เมอร์ค จำกัด ประเทศไทย

3.2 การเตรียมสารเติมแต่งที่ใช้ในการวิจัย

ทำการปรับปรุงผิวของถ้ำลอย และพรีซิพิตเตชันซิลิกา โดยใช้สารคู่ควบไซเลน (Couplink 89C; bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphide), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$ มีขั้นตอน [13] ดังนี้

1. เตรียมสารคู่ควบไซเลน Couplink 89C ที่ปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักถ้ำลอย/พรีซิพิตเตชันซิลิกา และเตรียมเอทานอลในอัตราส่วน 100 มิลลิลิตรต่อถ้ำลอย 100 กรัม

2. เติมสารคู่ควบไซเลน Couplink 89C ลงในเอทานอล และกวนสารละลายด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก เป็นเวลา 30 นาที
3. นำตัวอย่างเหลวในสารละลายระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเอทานอล ใช้แท่งแก้วกวนให้ของผสมเข้ากัน เป็นเวลา 15 นาที ส่วนพรีซิพิตชันซิติกาและสารละลายระหว่างสารคู่ควบไซเลนกับเอทานอลเหลวในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (Highspeed mixer) จากนั้นจึงทำการผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 5 นาที
4. ทำการอบตัวอย่าง และพรีซิพิตชันซิติกาที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

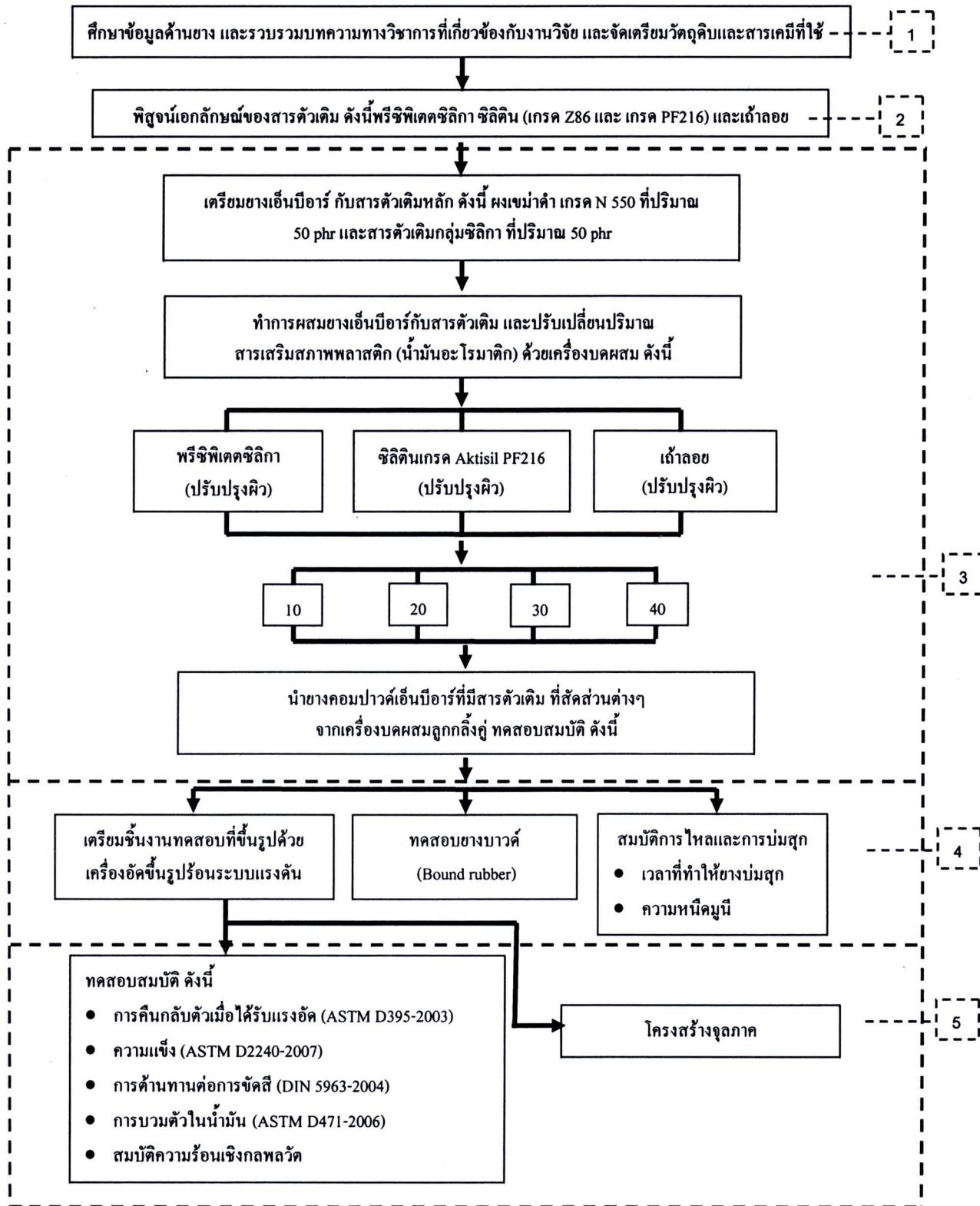
ดังนั้น ถ้าใช้ Couplink 89C ปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของตัวอย่างและพรีซิพิตชันซิติกา นั้นหมายความว่า ใช้ Couplink 89C ปริมาณ 4 กรัม ต่อตัวอย่าง 100 กรัม และเอทานอล 100 มิลลิลิตร

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

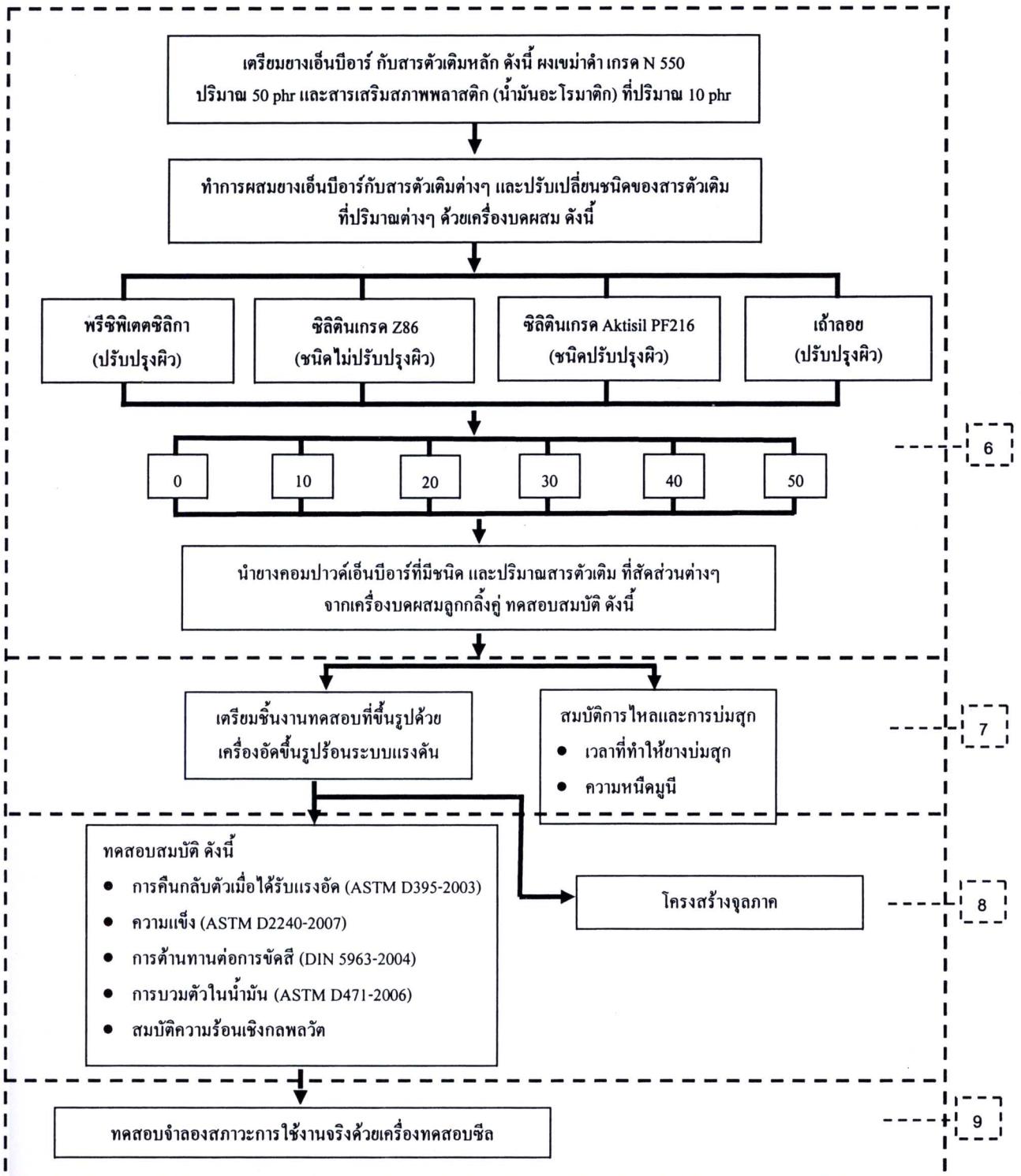
แผนงานในการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- ศึกษาชนิดและปริมาณสารเติมแต่งกลุ่มซิติกาที่มีต่อสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต พฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอีลาสติก และความคงทนของยางเอ็นบีอาร์
- เพื่อศึกษาปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติกที่มีต่อสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต พฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอีลาสติก และความคงทนของยางเอ็นบีอาร์

ในส่วนแรกของงานวิจัยได้ศึกษาปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติก (น้ำมันอะโรมาติก) 10 20 30 และ 40 phr ที่มีผลต่อสมบัติการไหลและการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต การกักคืนตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด การต้านทานต่อการขีดสี การบวมตัวในน้ำมันที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อได้ปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกที่เหมาะสม จึงนำมาศึกษาชนิดสารเติมแต่งกลุ่มซิติกา ดังนี้ พรีซิพิตชันซิติกา เถ้าลอย และซิลิโคน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่ปริมาณ 0 10 20 30 40 และ 50 phr ทำการขึ้นรูปชิ้นงานจากนั้นทดสอบสมบัติเช่นเดียวกับการศึกษาส่วนแรกของงานวิจัยและทดสอบสถานะการใช้งานจริงด้วยเครื่องทดสอบชิล ลำดับการดำเนินงานวิจัยโดยรวม ดังแสดงใน รูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวม (ส่วนที่ 1)



รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวม (ส่วนที่ 2)

รายละเอียดของแผนงาน

งานหมายเลข 1 ศึกษาข้อมูลงานวิจัยและรวบรวมบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมี สมบัติ และการใช้งานของวัสดุยางเอ็นบีอาร์ พรีพิตเตดซลิกา ฝ้าลอย ซิลิติน และผงเขม่าดำ ศึกษาสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต และพฤติกรรม การคืนกลับตัวทางฮิสเทติกของยาง รวบรวมบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และ ดำเนินการจัดเตรียมวัสดุยางเอ็นบีอาร์ สารตัวเติมกลุ่มซลิกา ผงเขม่าดำ และสารเติมแต่ง ที่มีสมบัติ และลักษณะตามที่ต้องการ เพื่อใช้ในงานวิจัยในงานวิจัยนี้สนใจปรับปรุงสมบัติการคืนกลับตัวของ ซิลยางเอ็นบีอาร์ให้มีสมบัติเทียบเท่าหรือสูงกว่าซิลยางทางการค้า โดยการผสมสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ดังนี้ พรีพิตเตดซลิกา ฝ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว) ลงในยางเอ็นบีอาร์ ที่เป็นส่วนผสมหลัก และเติมด้วยสารเสริมแรงผงเขม่าดำซึ่งเป็นสารเติมแต่งหลัก ปรับเปลี่ยนปริมาณ สารตัวเติมกลุ่มซลิกา และปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติก

งานหมายเลข 2 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารตัวเติมกลุ่มซลิกา ดังนี้ พรีพิตเตดซลิกา ผงฝ้าลอย และซิลิติน ชนิดปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว

การคัดแยกขนาดอนุภาคฝ้าลอยด้วยตะแกรงร่อนขนาดไม่เกิน 125 ไมครอน ตรวจสอบขนาดอนุภาค ของสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Coulter (Coulter LS 100 ประเทศสหรัฐอเมริกา) ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีของสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ด้วยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโกปี โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) ยี่ห้อ Perkin elmer (Spectrum one ประเทศสหรัฐอเมริกา) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ยี่ห้อ Horiba (MESA-500W ประเทศญี่ปุ่น) วิเคราะห์สัญญาณวิทยของสารตัวเติมกลุ่มซลิกา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL (JSM-5800 ประเทศญี่ปุ่น) ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์

งานหมายเลข 3 การผสมยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ดังนี้ พรีพิตเตดซลิกา ฝ้าลอย และซิลิติน และปรับเปลี่ยนปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติก (ตามแผนงานในส่วนที่ 1)

เตรียมยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวเติมกลุ่มซลิกา ดังนี้ พรีพิตเตดซลิกา ฝ้าลอย และซิลิติน ที่ปริมาณ 50 phr และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมหลักเกรด N 550 ที่ปริมาณ 50 phr ปรับเปลี่ยนสารเสริมสภาพ

พลาสติก (น้ำมันอะโรมาติก) เกรด E101 ที่ปริมาณ 10-40 phr ทำการผสมสารเคมีและยางด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ตามส่วนประกอบของสารประกอบยาง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 30 นาที

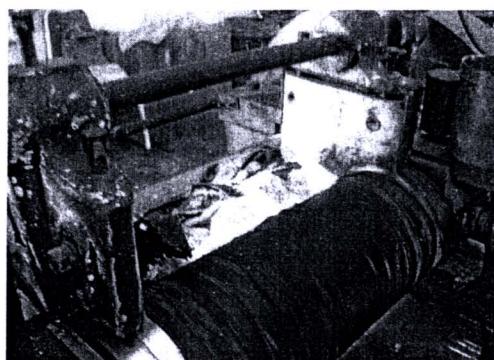
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของยางที่ใช้ในงานวิจัยส่วนที่ 1

สารเคมี	หน้าที่	ปริมาณ (phr)
1. ยางเอ็นบีอาร์ (ACN 33.5%)	เมทริกซ์	100 ส่วน
2. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	5.0
3. กรดสเตียริก (Stearic acid)	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	1.5
4. ผงเขม่าดำ (N 550)	สารเสริมแรง	50
5. เทตระเมทิลไทยเรมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulfide, TMTD)	สารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยา	2.5
6. ไดเบนโซไทอาซิลไดซัลไฟด์ (Dibenzothiazyl diulfide, MBTS)	สารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยา	0.7
7. กำมะถัน	สารบ่มสุก	2.0
8. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) เกรด E101	สารทำให้ยางนิ่ม	10.0-40.0
9. สารตัวเติมกลุ่มซลิคา - ฟริชพิเตดซลิคา - ถ้ำลอย - ซิลิโคน	(ปรับปรุงผิว) สารเสริมแรง/สารเพิ่มเนื้อ	50.0

*phr: parts per hundred of rubber by weight



(a)



(b)

รูปที่ 3.3 การผสมยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวเติมบนเครื่อง Two roll mill (a) การบดยางให้นิ่ม (b) การใส่สารตัวเติม

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการผสมยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวช่วยเครื่องบดผสมลูกกึ่งคู่ โดยบดยางให้นิ่มเพื่อลดความหนืดของยางก่อนใส่สารตัวเติม เรียกขั้นตอนนี้ว่า มาสติกเคชั่น (Mastication) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (a) จากนั้นเติมสารตัวเติมตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b) โดยมีลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในตารางที่ 3.2 ดังนี้

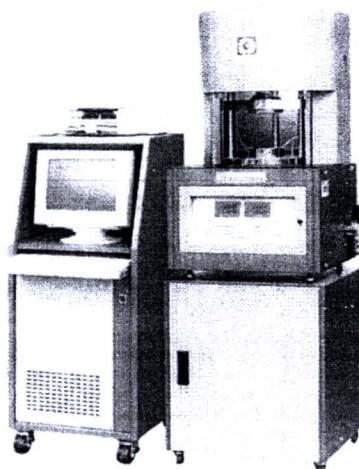
ตารางที่ 3.2 ลำดับการผสมสารเคมีและเวลาในการเติมสารเคมีในยางที่ใช้ระบบการบ่มสุกด้วยกัมมะถัน

ขั้นตอนการเติมสารเคมี	เวลาที่ใช้ (นาที)
ยางเอ็นบีอาร์เกรด KYRNAC 3345F	5
สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO)	2
สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid)	2
สารเติมแต่งผงเขม่าดำ สารเติมแต่งชนิดต่างๆและน้ำมันอะโรมาติก	12
สารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยา TMTD และ MBTS	4
สารคงรูปยาง (Sulphur)	5
เวลาในการผสมทั้งหมด	30

งานหมายเลข 4 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการบ่มสุกและเตรียมชิ้นงานแผ่นยางที่คงรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (งานส่วนที่ 1)

การตรวจสอบหาเวลาในการคงรูปยาง

นำยางคอมปาวด์ที่ได้จากเครื่องบดผสมลูกกึ่งคู่ทดสอบหาเวลาในการบ่มสุก (Cure time) ที่ร้อยละ 90 (tc_{90}) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จากบริษัท GOTECH Testing Machine (GT 70-70-S2 ประเทศไต้หวัน) ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิทดสอบ 170 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 เครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR)

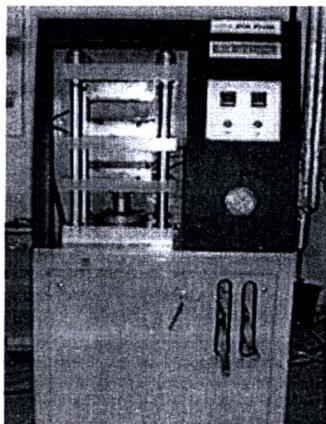
การตรวจสอบหาปริมาณยางบาวด์

ตัดชิ้นงานยางคอมปาวด์เป็นรูปทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหมด แล้วแช่ลงในสารละลายอะซีโตนปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักหลังจากแช่ในสารละลายอะซีโตน จะได้ปริมาณยางที่ไม่ละลายเป็นยางบาวด์ คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของยางที่ไม่ละลายในสารละลายอะซีโตน สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ยางบาวด์} = \frac{\text{น้ำหนักของยางหลังแช่อะซีโตน} - \text{น้ำหนักของสารตัวเดิม}}{\text{น้ำหนักของยางก่อนแช่อะซีโตน} - \text{น้ำหนักของสารตัวเดิม}} \times 100 \quad (3.1)$$

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง

ผลการทดสอบเวลาในการคงรูปร่างเอ็นบีอาร์ที่ ร้อยละ 90 ของแต่ละสูตรยางจากเครื่อง ODR นำมาใช้เป็นข้อมูลในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression molding) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 จากบริษัท LAB TECH Engineering จำกัด (Lp 20 ประเทศไทย) โดยอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 170 องศาเซลเซียส ใช้แรงดันโมลด์ที่ 160 กก./ตร.ซม.



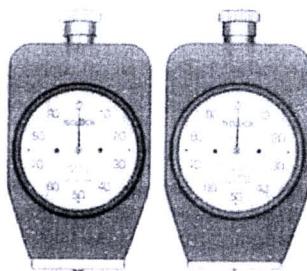
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression molding)

งานหมายเลข 5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (งานส่วนที่ 1)

นำวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ดังนี้ ฟรีซิลิเตดซิลิกา ฝ้าลอย และซิลิโคน ทดสอบสมบัติเชิงกล ตามรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความแข็ง (Hardness)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานยางคงรูป โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งดังแสดงในรูปที่ 3.6 จากบริษัท TecLock จำกัด (GS-719G ประเทศญี่ปุ่น) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240-07 Shore A

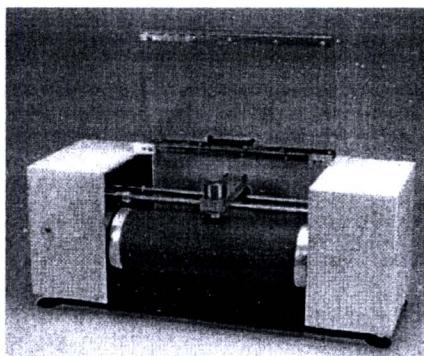


รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็ง

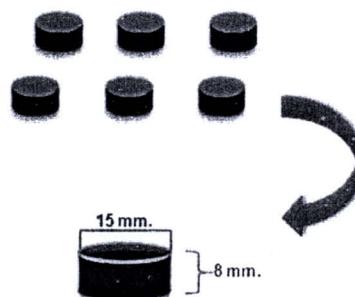
2. ความต้านต่อการขัดสี (Abrasion resistance)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการต้านทานต่อการขัดสีหาค่าการสูญเสียเนื้อวัสดุ โดยใช้เครื่อง DIN abrader ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (a) จากบริษัท Hampden Test Equipment จำกัด ประเทศอังกฤษ

ตามมาตรฐาน DIN 53516 โดยเตรียมชิ้นงานทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และหนา 8 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 3.7 การเตรียมชิ้นงานทดสอบการต้านทานต่อการขัดสี (a) เครื่องทดสอบ DIN abrader (b) ชิ้นงานสำหรับทดสอบการต้านทานต่อการขัดสี

3. การคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด (Compression set)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัดของชิ้นงานยางที่คงรูป ตามมาตรฐาน ASTM D395-03 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ทดสอบโดยวัดความหนาชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ (t_0) แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างเข้าไปในแม่พิมพ์อัดไปวางระหว่างเครื่องอัด โดยชิ้นงานตัวอย่างถูกอัดให้ยุบตัวลงจากเดิม ร้อยละ 25 (t_n) ให้ชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในสภาพที่มีแรงอัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วคลายแรงอัดปล่อยให้ชิ้นงานตัวอย่างคืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจสอบความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (t_1) ดังแสดงในสมการที่ 3.2

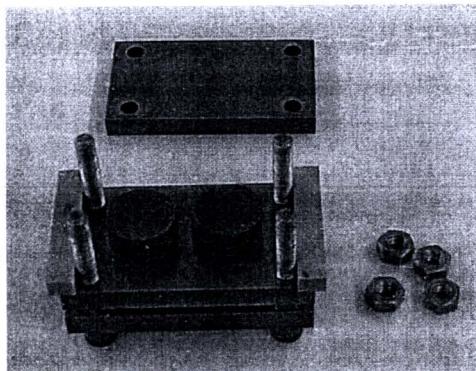
$$C_B = ((t_0 - t_1) / (t_0 - t_n)) \times 100\% \quad (3.2)$$

โดยที่ C_B = Compression set (%)

t_0 = ขนาดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ (mm)

t_1 = ขนาดความหนาสุดท้ายที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

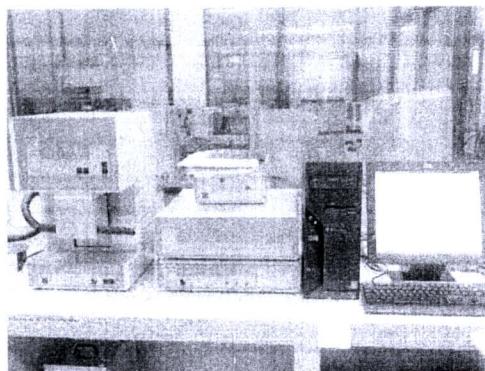
t_n = ขนาดความหนาที่กดทับไว้ ร้อยละ 25 ของความหนาชิ้นงานก่อนการทดสอบ (mm)



รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบการคืนกลับตัวของยางเอ็นบีอาร์

4. การทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต

เตรียมชิ้นงานทดสอบ ขนาดความกว้าง 5 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ในช่วงอุณหภูมิการทดสอบ -60 ถึง 100 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ความถี่ 1 ครั้งต่อวินาที แอมพลิจูด 30 ไมโครเมตร ด้วยเครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer จากบริษัท Netzsch รุ่น 242 ประเทศเยอรมนี ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer

5. การทดสอบสมบัติการทนต่อน้ำมัน

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการทนต่อน้ำมัน ที่สภาวะการทดสอบ ดังนี้

- การต้านทานการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิก ยี่ห้อ Pennzoil เกรด 46M อุณหภูมิทดสอบ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง

- การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมันไฮดรอลิก ยี่ห้อ Pennzoil เกรด 46M อุณหภูมิทดสอบ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D471-06

ทดสอบโดยเตรียมชิ้นงานทดสอบ ขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ (M_0) แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในน้ำมันที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เป็นเวลา 70 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกแล้วใช้กระดาษซับน้ำมัน จากนั้นชั่งน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังแช่ในน้ำมัน (M_1) ดังแสดงในสมการที่ 3.3

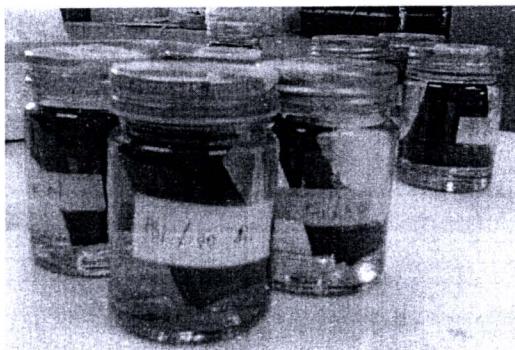
$$Q = ((M_1 - M_0) / (M_0)) \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่

Q = สัดส่วนการบวมตัว (%)

M_0 = น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนแช่ (g)

M_1 = น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังแช่ (g)



รูปที่ 3.10 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมัน

งานหมายเลข 6 ทำการผสมยางเอ็นปีอาร์ และปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ดังนี้ ฟริชพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิโคน ตามแผนงานวิจัยในงานวิจัยส่วนที่ 2

ทำการผสมยางเอ็นปีอาร์ โดยเลือกปริมาณสารเสริมสภาพทางพลาสติก ที่ปริมาณ 10 phr และปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ดังนี้ ฟริชพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิโคน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่ปริมาณ 0 10 20 30 40 และ 50 phr ด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่

(Two roll mill) ตามส่วนประกอบของสารประกอบยาง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยใช้เวลาในการผสม 30 นาที และลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของยางที่ใช้ในงานวิจัยส่วนที่ 2

สารเคมี	หน้าที่	ปริมาณ (phr*)
1. ยางเอ็นบีอาร์ (ACN 33.5%)	เมทริกซ์	100 ส่วน
2. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	5.0
3. กรดสเตียริก (Stearic acid)	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	1.5
4. ผงเขม่าดำ (N 550)	สารเสริมแรง	50
5. เทตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD)	สารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยา	2.5
6. ไดเบนโซไทอาซึลไดซัลไฟด์ (dibenzothiazyl diulfide, MBTS)	สารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยา	0.7
7. กำมะถัน	สารบ่มสุก	2.0
8. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) เกรด E101	สารทำให้ยางนิ่ม	10.0
9. สารตัวเติมกลุ่มซิลิกา - ฟริซิพิเคตซิลิกา - เถ้าลอย - ซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว)	สารเสริมแรง/สารเพิ่มเนื้อ	0-50.0

*phr: parts per hundred of rubber by weight

งานหมายเลข 7 และ 8 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการสุกตัว เตรียมชิ้นงานยางที่คงรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน และศึกษาสมบัติเชิงกล

นำยางผสมยางคอมปาวด์ที่ได้ทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ตรวจสอบเวลาในการสุกยางโดยใช้เครื่อง ODR และนำเวลาในการคงรูปยางที่ได้จากการทดสอบ ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นยางทดสอบแต่ละสูตรด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดันโดยใช้สภาวะเช่นเดียวกับงานหมายเลข 4 เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต สมบัติการคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด การต้านทานต่อการขีดสี และการบวมตัวในน้ำมันยางเอ็นบีอาร์เช่นเดียวกับงานหมายเลข 5

งานหมายเลข 9 การทดสอบสภาวะการใช้งานจริงด้วยเครื่องทดสอบซีล

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่วแบบ U-CUP และการจัดสร้างเครื่องทดสอบซีลที่จำลองสภาวะการใช้งานจริงในระบบไฮดรอลิก มีขั้นตอนการทดสอบผลิตภัณฑ์ ตามรายละเอียด ดังนี้

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว

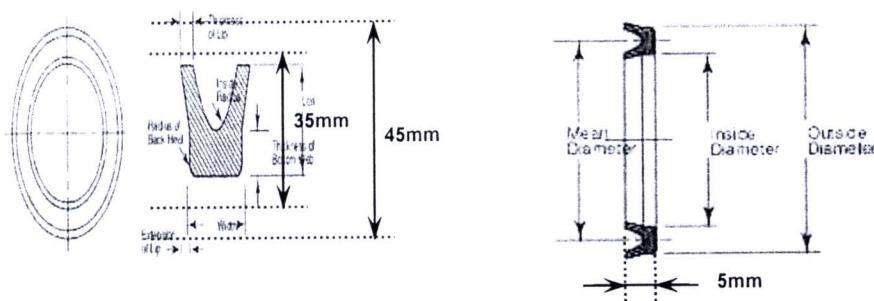
ผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่วระบบไฮดรอลิก ที่ใช้งานวิจัยนี้มีลักษณะแบบ U-CUP ซึ่งมีการเรียกชื่อตามลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ยางซีลที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกแบบ US Series U-Ring [47-48] ดังแสดงภาพด้านหน้าและด้านข้างของยางซีล ในรูปที่ 3.11 (a) และ 3.11 (b) ซึ่งการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ซีลโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน ผลิตภัณฑ์ซีลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 45 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 35 มิลลิเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (c)



(a) ภาพด้านหน้าซีล U-CUP



(b) ภาพด้านข้างซีล U-CUP



(c) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกของซีล U-CUP

รูปที่ 3.11 ผลิตภัณฑ์ซีลยางกันรั่วแบบ U-CUP ที่ใช้ในการทดสอบ

1. คุณลักษณะของเครื่องทดสอบซีลที่จำลองสภาวะการใช้งานจริงในระบบไฮดรอลิก

ในงานวิจัยนี้ ทดสอบซีลกันรั่วแบบ U-CUP โดยทดสอบในเครื่องทดสอบซีลจำลองสภาวะการใช้งานจริงในระบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 3.12 มีรายละเอียดของชุดควบคุมและความสามารถของเครื่องทดสอบ ดังนี้

- สามารถตรวจวัดแรงดันน้ำมันในระบบ โดยใช้ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure transmitter) ยี่ห้อ Siemens มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0-25 bar และตรวจสอบอุณหภูมิภายในระบบไฮดรอลิก โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล แสดงในรูปที่ 3.12 หมายเลข 1 และแสดงผลที่จอในระบบดิจิทัล ดังรูปที่ 3.12 หมายเลข 2
- สามารถควบคุมความเร็วโดยใช้ชุดควบคุมอัตราการไหล ในงานใช้ยี่ห้อ Hystar รุ่น FTC ที่มีช่วงอัตราการไหลระหว่าง 30-190 ลิตรต่อนาที โดยติดตั้งอุปกรณ์ ดังนี้ ป้อนน้ำมัน เกจชุดควบคุมแรงดัน และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำมัน บนถังบรรจุน้ำมันไฮดรอลิก แสดงดังในรูปที่ 3.12 หมายเลข 3
- สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกไฮดรอลิกได้ตั้งแต่ 10-70 เซนติเมตร โดยใช้วาล์วควบคุมทิศทางและตรวจนับจำนวนการเคลื่อนที่เข้า – ออกของลูกสูบไฮดรอลิก โดยใช้ลิimitsวิตซ์ที่ติดตั้งบนรางเลื่อน ขนานกับชุดกระบอกไฮดรอลิกดังแสดงในรูปที่ 3.12 หมายเลข 4 ที่แสดงผลระบบดิจิทัล
- สามารถถอดประกอบเปลี่ยนซีลยาง U-CUP ภายในเครื่องทดสอบได้ง่าย และไม่ซับซ้อน ลักษณะซีลดังแสดงในรูปที่ 3.12 หมายเลข 5 และชุดน้ำหนัก 65 กิโลกรัม ซึ่งเป็นแรงจากภายนอกสามารถเคลื่อนย้ายได้ดังแสดงในรูปที่ 3.12 หมายเลข 6
- อุปกรณ์ทดสอบติดตั้งอยู่บนแท่นชุดทดสอบที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ดังแสดงในรูปที่ 3.12 หมายเลข 7

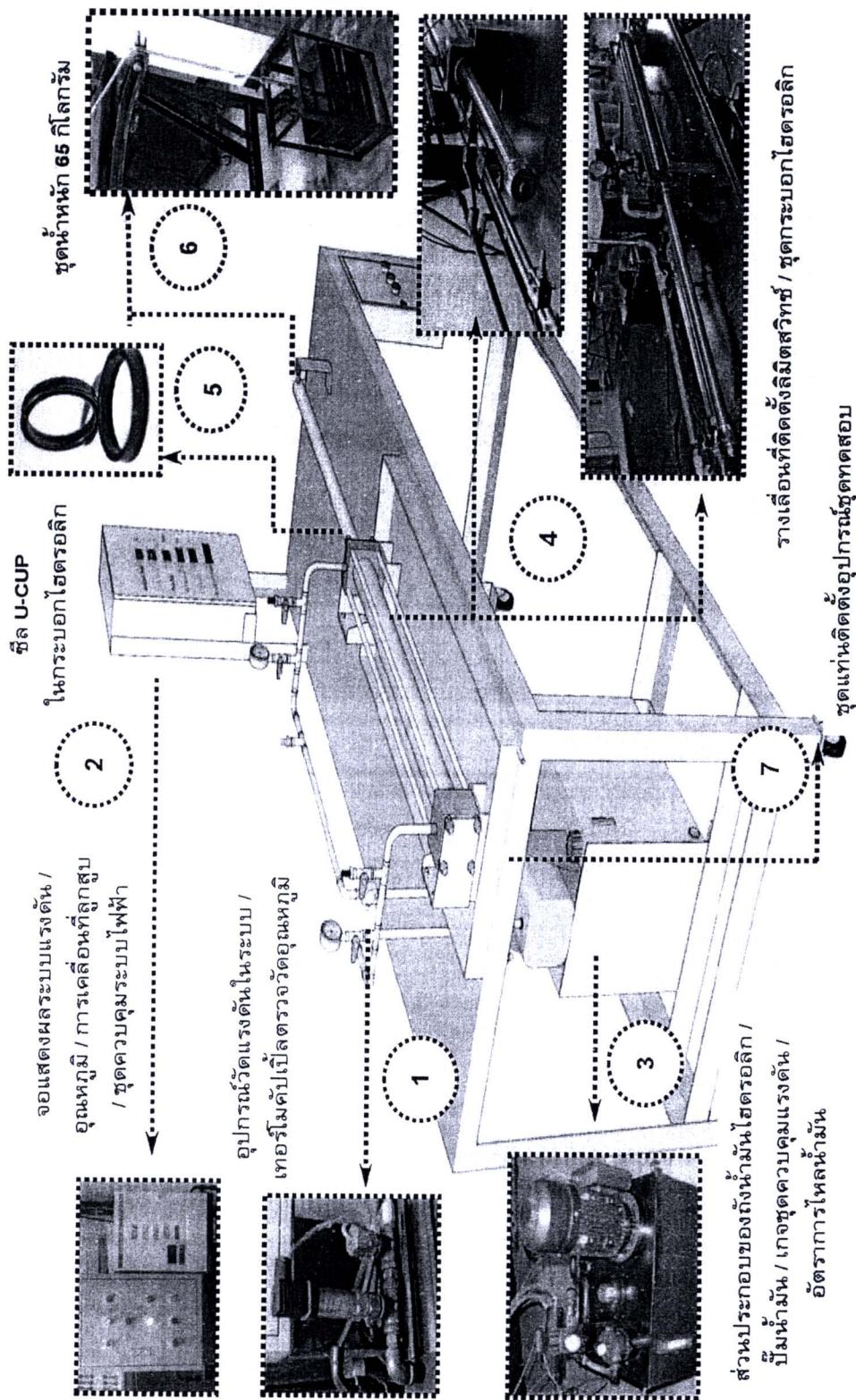
2. ขั้นตอนการกำหนดสภาวะการทดสอบผลิตภัณฑ์ยางซีล

ในการนี้ คณะวิจัยฯ กำหนดสภาวะทดสอบ และการตรวจสอบของผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP ที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP ทางการค้า มีขั้นตอนรายละเอียดในตารางที่ 3.4 มีสภาวะในการทดสอบยางซีล ดังนี้

- ทดสอบในเครื่องทดสอบซีลในห้องปฏิบัติการทดสอบต่อเนื่องที่ระยะเวลา 44 ชั่วโมง 30 นาที ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกไฮดรอลิกที่ 7.5 เมตรต่อนาที ที่ระยะทางการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่ 20 กิโลเมตร
- ในงานนี้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักที่ 65 กิโลกรัม (ในแนวตั้ง จำลองสภาวะการยกน้ำหนักจริง)

ตารางที่ 3.4 สภาวะของการทดสอบยางซีลกันรั่ว U-CUP เกรดการค้าเปรียบเทียบกับยางซีลกันรั่ว U-CUP จากงานวิจัย

ชิ้นงานยางซีล U-CUP	สภาวะในการทดสอบ	วิธีการตรวจสอบ
		ก่อน / หลังการทดสอบ
1: ทางการค้า	ทดสอบในเครื่องทดสอบซีล* ที่เวลาต่อเนื่อง 44 ชั่วโมง 30 นาที * การเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกไฮดรอลิก เข้า-ออก ที่ความเร็ว 7.5 เมตรต่อนาที ทดสอบที่ ระยะทางต่อเนื่อง 20 กิโลเมตร (โดยการใช้แรงที่ มีน้ำหนัก 65 กิโลกรัม)	ด้วยสายตา <ul style="list-style-type: none"> • สีของยาง • ความเรียบผิวยางซีล • ความมันวาวซีลยาง ทางกายภาพ <ul style="list-style-type: none"> • น้ำหนักยางซีล • ขนาดของซีล เชิงกล <ul style="list-style-type: none"> • ความแข็งซีลยาง
2: งานวิจัย		



รูปที่ 3.12 รายละเอียดอุปกรณ์เครื่องทดสอบซีลที่จำลองสภาวะการใช้งานจริงในระบบไฮดรอลิก

3. เกณฑ์ที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางทนน้ำมันกันรั่ว

คณะผู้วิจัยฯ และภาคเอกชนผู้ร่วมทุน บริษัท พาวเวอร์ซีล จำกัด ได้ร่วมกันกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว โดยใช้ผลจากการทดสอบชิ้นงานผลิตภัณฑ์จริงของยางซีลแกนกระบอกไฮดรอลิกทางการค้า ลักษณะแบบ U-CUP ประเทศญี่ปุ่น โดยทำการทดสอบ ดังนี้ ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด ความแข็ง ความต้านทานต่อการขีดสี และการคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด เพื่อใช้เป็นเกณฑ์การพัฒนาของซีลในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว [13]

สมบัติของผลิตภัณฑ์	เกณฑ์ผลิตภัณฑ์ยางซีลทนน้ำมัน
มอดูลัสที่การยืดตัว 100 เปอร์เซ็นต์ (เมกะปาสคาล)	≥ 10
ความต้านแรงดึงสูงสุด (เมกะปาสคาล)	≥ 18
การยืดตัวที่จุดขาด (เปอร์เซ็นต์) ตามมาตรฐาน ASTM D412-06	≥ 180
ความต้านแรงฉีกขาด (กิโลนิวตัน/เมตร) ตามมาตรฐาน ASTM D624-07	≥ 30
ความแข็ง (Shore A) ตามมาตรฐาน ASTM D2240-07	$\geq 80-85$
ความต้านทานต่อการขีดสี (ลูกบาศก์มิลลิเมตร) ตามมาตรฐาน ASTM D5963-04	≤ 22
การกลับคืนตัวเมื่อได้รับแรงอัด (ร้อยละ) ตามมาตรฐาน ASTM D395-03	≤ 11