บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การเตรียมซิลิกา

3.1.1 วิธีทำความสะอาด

ก่อนที่จะนำแกลบมาใช้ในการวิจัย ต้องนำแกลบมาทำความสะอาดก่อน โดยขั้นแรกต้องทำการเลือกสิ่งที่ติดมากับแกลบออก เช่น หิน ต้นและใบของข้าว เป็นต้น เนื่องจากสิ่งเหล่านี้ไม่สามารถล้างให้ออกได้ในเครื่องซักผ้าที่ดัดแปลงเป็นเครื่องมือล้างแกลบ โดยเครื่องซักผ้าที่ใช้ คือ เครื่องซักผ้ามิตซูบิชิ รุ่น CW 224E

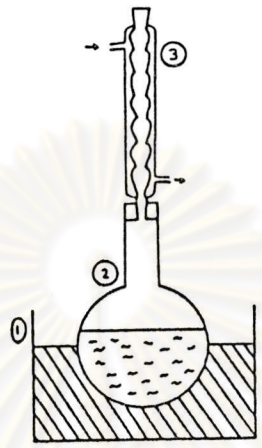
รูปที่ 3.1 เครื่องทำความสะอาดแกลบ

หลังจากนั้นนำแกลบประมาณ 2 กิโลกรัม มาล้างในเครื่องมือล้างแกลบโดยเปิดน้ำประปาให้ท่วมแกลบ เปิดเครื่องให้เครื่องทำงานโดยการหมุนล้างอยู่ภายในเครื่องเป็นเวลาประมาณ 15 นาที คัดเลือกแกลบที่ลอยทิ้งไป หลังจากนั้นเปิดน้ำทิ้ง แล้วทำการล้างซ้ำเช่นนี้ประมาณ 7 - 10 ครั้ง หรือทำจนน้ำทิ้งที่ผ่านการล้างแกลบแล้วออกมาใส แล้วนำแกลบที่ล้างสะอาดแล้วมาปั่นให้แห้งในถุงผ้า โดยปั่นประมาณ 3 - 4 นาที แล้วนำมาทำให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 1 คืน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส

3.1.2 การทำปฏิกิริยากับกรด

นำแกลบที่ผ่านการล้างแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรด โดยใช้ปริมาณแกลบ 100 กรัมต่อสารละลายกรด 1 ลิตร และใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ชั่งแกลบประมาณ 500

กรัม มาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 ลิตร ในขวดก้นกลมขนาด 10 ลิตร พร้อมทั้งให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาด้วยจนเดือด ประมาณ 30 นาที แล้วต้มต่อไปที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยแกลบจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ



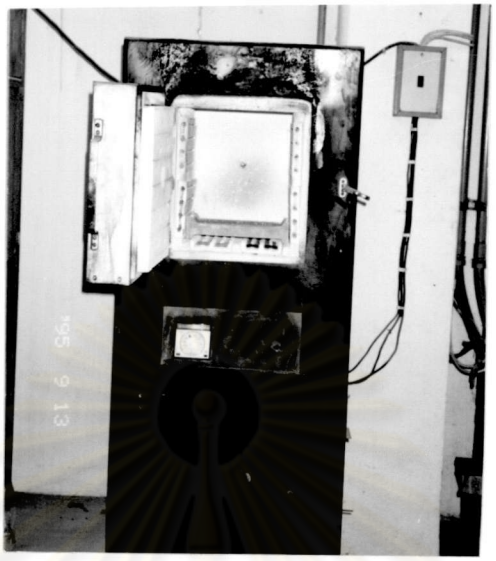
รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างแกลบและสารละลายกรด
1 : เครื่องทำความร้อน หรือเครื่องอังน้ำ
2 : ขวดก้นกลมขนาด 10 ลิตร
3 : เครื่องควบแน่นกลั่นไหลกลับ

นำแกลบที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับกรดแล้วมาล้างด้วยน้ำประปาให้หมดกรด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส แล้วนำมาทำให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 1 คืน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับกรดประกอบด้วย ขวดก้นกลมขนาด 10 ลิตร ซึ่งปิดด้วยจุกยางที่สวมไว้ด้วยเครื่องควบแน่นกลั่นไหลกลับ (reflux condensor) ซึ่งจะมีน้ำประปาไหลผ่านเพื่อป้องกันไอกรดและน้ำระเหยออกไป ทำให้ความเข้มข้นของกรดคงที่ นอกจากนี้แล้วยังมีการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ และให้ความร้อนกับปฏิกิริยาโดยเครื่องทำความร้อน หรืออาจใช้เครื่องอังน้ำ (water bath) ก็ได้

3.1.3 การเผา

ทำการเผาแกลบที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับกรดแล้วในเตาเผาไฟฟ้า โดยจะทำการบรรจุแกลบลงในกระบะเซรามิก (จ๊อ) ขนาดกว้าง 22.5 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร สูง 16 เซนติเมตร โดยบรรจุให้แกลบมี ความสูงไม่เกิน 15 เซนติเมตร เนื่องจากถ้าความสูงมากกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไม่ดี คือ ทำให้แกลบเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะทำให้มีเถ้าสีดำเหลืออยู่มาก เมื่อบรรจุแกลบเสร็จแล้วให้นำภาชนะเซรามิกที่บรรจุแกลบแล้ววางลงตรงกลางของเตา แล้วเปิดเตาให้มีอุณหภูมิขึ้นถึงประมาณ

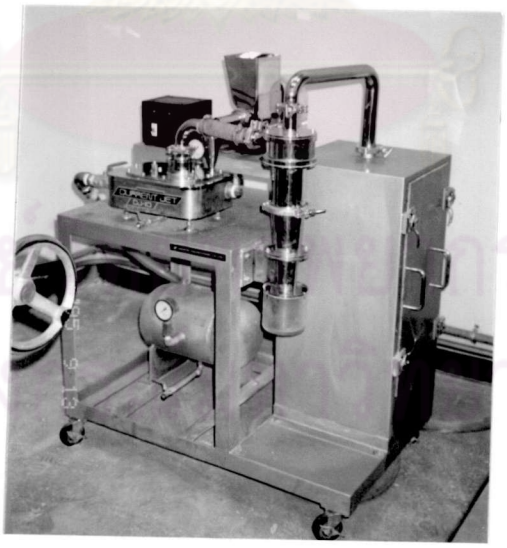
600 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 เตาที่ใช้ในการเผาแกลบ

จากขั้นตอนนี้ทำให้ได้ซิลิกาสีขาว ซึ่งมีลักษณะยาวรีเหมือนลักษณะของแกลบ แต่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้แล้วยังมีสีเทาปนอยู่บ้างเล็กน้อย

3.1.4 นำซิลิกาที่ได้นี้มาบดในเครื่องบด jet mill ซึ่งเป็นเครื่องบดที่ใช้กำลังลมช่วยในการบด โดยจะทำให้ซิลิกามีขนาดเล็กลง



รูปที่ 3.4 เครื่อง Jet mill

3.1.5 การทดสอบสมบัติของซิลิกา

3.1.5.1 การกระจายของขนาดอนุภาค โดยเครื่อง Centifugal particle size analyzer ของ Shimadzu model SA-CP2 และใช้สารละลาย calgon (sodium hexametaphosphate) ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นสารที่ทำให้เกิดการกระจายลอยตัว

3.1.5.2 ลักษณะของอนุภาค โดยเครื่อง SEM (Scanning electron microscope) ของ Jeol model JSM-35CF

3.2 การเตรียมสารประกอบยางและชิ้นงาน

3.2.1 การบดผสมยางกับสารเคมี

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผสมสารประกอบยาง ได้แก่

1. ยางธรรมชาติ : TTR 5L ของบริษัทบางกอกรับเบอร์
2. สารกระตุ้น : ซิงค์ออกไซด์ ชนิด white seal ของบริษัทยูนิไทยออกไซด์
3. สารกระตุ้น : กรดสเตียริก ของบริษัทอิมพีเรียล (ไทย)
4. สารเสริมแรง : เขม่าดำ (N330) หรือซิลิกา (Hi-sil 255 ของบริษัทพีพีจีสยามซิลิกาหรือซิลิกาจากแกลบ)
5. สารช่วยในการแปรรูป : น้ำมันพาราฟินิก ของบริษัทเอสโซ่
6. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ : PPD ของบริษัทซันนีเวิร์ล
7. สารเร่ง : MBTS (Mercaptobenzthiazyl disulphide) ของบริษัทกิจไพบูลย์
8. สารเร่ง : DPG ของบริษัท Gujarat (India)
9. สารคงรูป : กำมะถัน ของบริษัทสยามเคมี

สำหรับสูตรสารประกอบยางที่ใช้ในการวิจัย มี 4 สูตร คือ

สูตรที่ 1 เป็นสูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรง

สูตรที่ 2 เป็นสูตรที่ใช้ซิลิกาที่ได้จากแกลบเป็นสารเสริมแรง

สูตรที่ 3 เป็นสูตรที่ใช้ Hi-sil 255 เป็นสารเสริมแรง

สูตรที่ 4 เป็นสูตรที่ใช้เขม่าดำเป็นสารเสริมแรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 สูตรสารประกอบยางที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบ	phr			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
TTR 5L	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5
กรดสเตียริก	2	2	2	2
ซิลิกาจากแกลบ	-	40	-	-
Hi-sil 255	-	-	40	-
เขม่าดำ	-	-	-	40
น้ำมันพาราฟินิก	5	5	5	5
PPD	1	1	1	1
MBTS	1.8	1.8	1.8	1.8
DPG	0.25	0.25	0.25	0.25
กำมะถัน	3	3	3	3

ขั้นตอนการบดผสมยาง

1. คำนวณปริมาณของสารประกอบยางไม่ให้เกินความจุของ Banbury mixer (เครื่องบดผสมแบบปิด) ซึ่งสามารถจุยางได้ประมาณ 1220 กรัม ถ้านำยางมาผสมมากเกินไปจะทำให้การบดผสมไม่มีประสิทธิภาพ คือ สารเคมีต่างๆ ที่ทำการบดผสมจะเข้ากับยางได้ไม่ทั่วถึง และใช้พลังงานมากในการบดผสม

ก่อนอื่นต้องคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละสูตรยางก่อน ได้น้ำหนักดังตารางที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร

วัตถุดิบ	ความถ่วงจำเพาะ	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
TTR 5L	0.92	905.00	788.00	775.00	765.00
ZnO	5.57	45.25	39.40	38.75	38.25
กรดสเตียริก	0.87	18.10	15.76	15.50	15.30
ซิลิกาจากแกลบ	2.20	-	315.20	-	-
Hi-sil 255	1.95	-	-	310	-
เขม่าดำ	1.80	-	-	-	306.00
น้ำมันพาราฟินิก	0.89	45.25	39.40	38.75	38.25
PPD	1.20	9.05	7.88	7.75	7.65
MBTS	1.30	16.29	14.18	13.95	13.77
DPG	1.19	2.26	1.97	1.94	1.91
กำมะถัน	2.10	27.15	23.64	23.25	22.95
	รวม	1068.35	1245.43	1224.89	1209.08

สำหรับสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่มีเขม่าดำเป็นสารเสริมแรง ในการทดลองนี้จะใช้ยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว (masterbatch) จากโรงงานเอ็มเอสซี เนื่องจากการใช้เขม่าดำที่ยังไม่ได้ผสมกับยางในเครื่องผสมแบบปิด จะทำให้ล้างเขม่าดำที่ติดอยู่ในเครื่องออกได้ยาก และยางที่ผสมเขม่าดำแล้วนี้จะผสมน้ำมันพาราฟินิกด้วยเพื่อช่วยให้ผสมได้ง่ายขึ้น ตามสูตร

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)
TTR 5L	25
เขม่าดำ	15
น้ำมันพาราฟินิก	1.25
รวม	41.25

จากตารางที่ 3.2 สูตรที่ 4 ต้องใช้เขม่าดำ 306.00 กรัม

ต้องใช้ยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว = (เขม่าดำที่ต้องการ × น้ำหนักรวมของยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว) / ปริมาณเขม่าดำในยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว

= (306.00 × 41.25) / 15 กรัม

= 841.50 กรัม

ในยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว 841.50 กรัม มียาง TTR 5L ผสมอยู่ 510.00 กรัม และมีน้ำมันพาราฟินิกผสมอยู่ 25.50 กรัม ดังนั้นต้องนำน้ำหนักของยางและน้ำมันพาราฟินิกที่มีอยู่ในยางที่ผสมเขม่าดำแล้วมาหักลบออกจากสูตรที่ 4 ในตารางที่ 3.2 ได้เป็นสูตรที่ใช้ยางผสมเขม่าดำแล้วดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรที่ 4 ที่ใช้ยางผสมเขม่าดำแล้ว

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)
TTR 5L	255.00
ยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว	841.50
ซิงค์ออกไซด์	38.25
กรดสเตียริก	15.30
น้ำมันพาราฟินิก	12.75
PPD	7.65
MBTS	13.77
DPG	1.91
กำมะถัน	22.95
รวม	1209.08

2. ชั่งน้ำหนักของสารต่างๆ สำหรับสูตรที่ 4 ชั่งตามตารางที่ 3.3 ส่วนสูตรที่ 1 - 3 ชั่งตามตารางที่ 3.2

3. นำยางและสารเคมีต่างๆ ยกเว้นกำมะถัน มาบดผสมในเครื่องบดผสมแบบปิด (Banbury mixer) โดยสูตรที่มีซิลิกาให้ใส่ตามลำดับดังนี้

ก. บดยางธรรมชาติ (TTR 5L) ให้นิ่มก่อน เป็นเวลาประมาณ 1 นาที ขั้นตอนนี้เรียกว่า mastication โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 70 องศาเซลเซียส

ข. ใส่ซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงไปบดผสมกับยางธรรมชาติ เป็นเวลาประมาณ 1 นาที

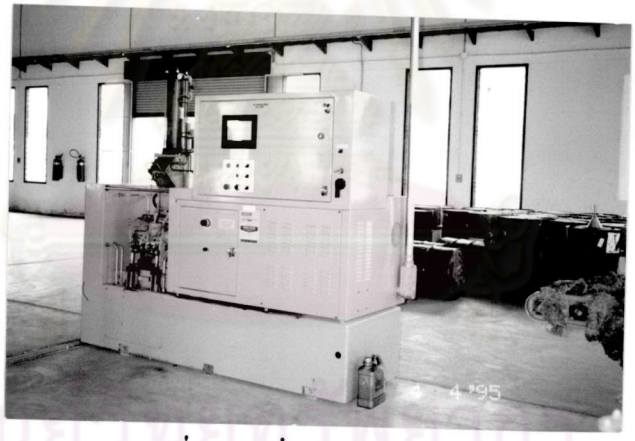
ค. ใส่ซิลิกาและน้ำมันพาราฟินิกอย่างละครึ่ง บดผสมเป็นเวลาประมาณ 1 นาที การที่ใส่ซิลิกาลงไปทีละครึ่งเพื่อให้การบดผสมซิลิกาให้เข้ากับยางได้ง่ายขึ้น เนื่องจากซิลิกามีอนุภาคเล็กมาก ยากต่อการบดผสม และการที่ใส่น้ำมันพาราฟินิกพร้อมกับซิลิกานั้น น้ำมันพาราฟินิกจะช่วยให้การบดผสมเป็นไปได้ง่ายขึ้น

เมื่อบดผสมในขั้นนี้เสร็จเรียบร้อยแล้ว กวาดซิลิกาที่ติดอยู่ในช่องใส่สารของเครื่องบดผสมให้ลงไปในห้องบดผสม เนื่องจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าซิลิกามีอนุภาคขนาดเล็ก จึงทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย

ง. ใส่ซิลิกาและน้ำมันพาราฟินิกที่เหลือลงไป บดผสมเป็นเวลาประมาณ 2 นาที แล้วเปิดช่องใส่สารกวาดซิลิกาที่ติดอยู่อีกครั้ง

จ. ใส่ PPD, MBTS และ DPG บดผสมเป็นเวลาประมาณ 2 นาที

เมื่อทำการบดผสมตามขั้นตอนนี้เรียบร้อยแล้ว เปิดให้ยางออกมา และวัดอุณหภูมิของยาง ต้องไม่ให้ยางมีอุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะทำให้ยางมีสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ ต้องควบคุมให้มีอุณหภูมิในแต่ละครั้งของการผสมใกล้เคียงกัน การบดผสมในเครื่องบดผสมแบบปิดนี้จะทำให้ยางที่ได้มีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3.5 เครื่องบดผสมยางแบบปิด

สำหรับสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงให้ทำตามขั้นตอนข้างต้น แต่ข้ามขั้นตอนที่ใส่ซิลิกา โดยหลังจากบดผสมซิงออกไซด์และกรดสเตียริกแล้ว ให้ใส่ PPD, MBTS และ DPG บดผสมต่อเลย

ส่วนสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้เขม่าดำเป็นสารเสริมแรง ให้ทำการบดผสมในเครื่องบดผสมแบบเปิดในข้อต่อไป

4. หลังจากนั้นนำยางผสมที่ได้จากข้อ 3 มาบดผสมต่อในเครื่องบดผสมแบบเปิด ชนิดสองลูกกลิ้ง โดยก่อนทำการบดผสมต้องทำการวัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสองไม่สูงเกินไป จนทำให้สมบัติของยางเสีย สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการบดผสมประมาณ 70 องศาเซลเซียส

นำยางที่ได้จากข้อ 3 มาใส่ลงเหนือลูกกลิ้งทั้งสอง แล้วทำการบดผสมยางเป็นเวลาประมาณ 1 นาที แล้วจึงค่อยๆ ใส่กำมะถันลงไปบดผสมกับยางทีละน้อย เป็นเวลาประมาณ 7 - 8 นาที จนกว่ากำมะถันจะผสมเข้ากันดีกับยางผสม

วัดอุณหภูมิของยางทันทีที่ออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้ง และวัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสองด้วย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป เหมือนการวัดอุณหภูมิของขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ต้องทำการชั่งน้ำหนักของยางที่บดผสมได้ เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ค่าที่ถูกต้องไม่ควรเกิน 2 %

สำหรับสูตรที่ 4 ทำตามขั้นตอนดังนี้

ก. วัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสอง

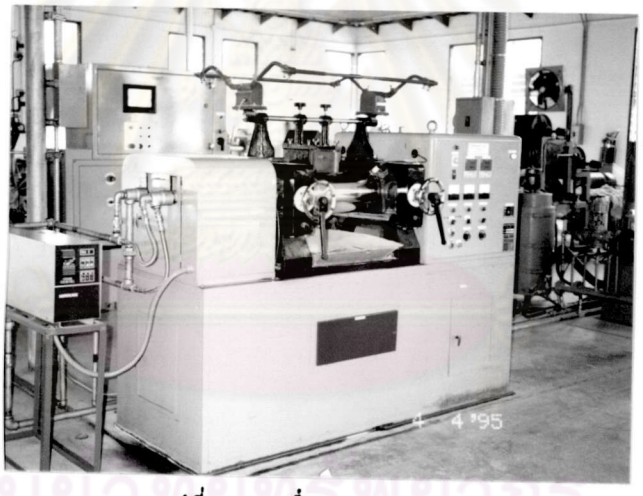
ข. บดผสมยาง TTR 5L และยางที่ผสมเขม่าดำแล้ว เป็นเวลาประมาณ 4 นาที

ค. ใส่ซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริกลงบดผสม ประมาณ 3 นาที

ง. ใส่น้ำมันพาราฟินิก, PPD, MBTS และ DPG ลงบดผสม ประมาณ 3 นาที

จ. ใส่กำมะถันทีละน้อย บดผสมประมาณ 7 - 8 นาที

ฉ. วัดอุณหภูมิของยางและลูกกลิ้งหลังจากที่บดผสมเสร็จแล้ว



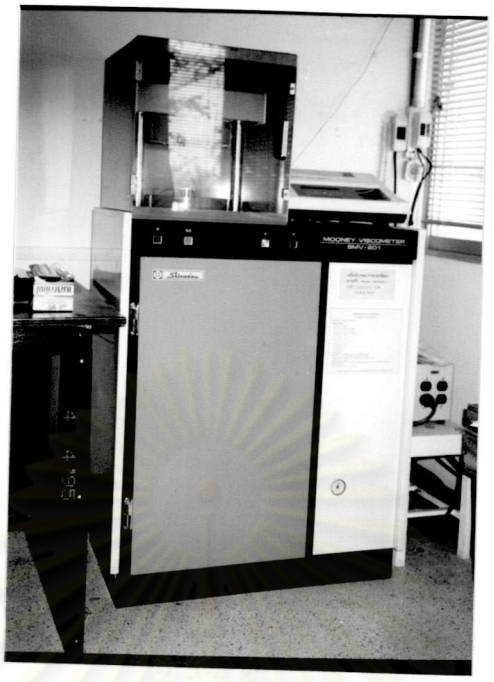
รูปที่ 3.6 เครื่องบดผสมแบบเปิด

3.2.2 นำสารประกอบยางมาหาเวลาที่ใช้ในการคงรูป โดยเครื่อง Rheometer ของ Monsanto : Model MDR 2000 ซึ่งทดสอบตาม ASTM D 2084-93 ต้องใช้ชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ทดสอบที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ torque 25 สำหรับสารประกอบยางที่นำมาทดสอบนั้น หลังจากที่ผสมเสร็จต้องทิ้งไว้หนึ่งคืนก่อนที่จะนำมาหาเวลาที่ใช้ในการคงรูป

รูปที่ 3.7 เครื่อง rheometer

3.2.3 หาค่าความหนืดของสารประกอบยาง โดยใช้เครื่อง Mooney viscometer ของ Shimadzu : Model SMV- 201 ทดสอบตาม ASTM 1646-81 ซึ่งต้องใช้ชิ้นงานที่เป็นวงกลม 2 ชิ้น เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร จะมีน้ำหนักประมาณ 20 กรัม ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยก่อนทดสอบต้องเปิดเครื่อง เพื่ออุ่นเครื่องเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงทำการทดสอบสารประกอบยางเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นให้ทิ้งไว้ 1 นาที ก่อนเปิดเครื่อง สำหรับการหาค่าความหนืดของยางก็เช่นเดียวกับการหาเวลาในการคงรูป คือ ต้องทิ้งสารประกอบยางไว้หนึ่งคืนก่อนที่จะนำมาทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 Mooney viscometer

3.2.4 หาเวลาการคงรูปก่อนกำหนดของสารประกอบยาง โดยใช้เครื่อง Mooney viscometer Shimadzu : Model SMV- 201 เรียกว่า การหาค่า Mooney scorch สำหรับวิธีการทดสอบจะทำเช่นเดียวกับการหาค่าความหนืดในข้อ 3.2.3 แต่ใช้อุณหภูมิในการทดสอบ 121 องศาเซลเซียส

3.2.5 ทิ้งยางที่บดผสมแล้วไว้ 1 คืน แล้วจึงทำการขึ้นรูปโดยวิธีการใช้แม่พิมพ์ ซึ่งใช้เวลาที่หาได้จากเครื่อง Rheometer และการขึ้นรูปมี 5 ขนาด คือ

ก. สี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 4 แผ่น สำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด ใช้ t_{98} เป็นเวลาในการคงรูป

ข. สี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น สำหรับทดสอบการกระดอน ใช้ t_{98} เป็นเวลาในการคงรูป

ค. ทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 1.4 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น สำหรับการทดสอบการคืนตัว ใช้เวลาสองเท่าของ t_{90} ในการคงรูป

ง. ทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น สำหรับการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ ใช้เวลาสองเท่าของ t_{90} ในการคงรูป

สังเกตได้ว่าเวลาที่ใช้ในการคงรูปของสารประกอบยางสูตรเดียวกันแต่ใช้เวลาไม่เท่ากันในบางชิ้นทดสอบ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคงรูปนั้นขึ้นกับความหนาของชิ้นทดสอบ คือ ชิ้นทดสอบที่มีความหนาไม่มากนักจะใช้ t_{98} เป็นเวลาในการคงรูป ส่วนชิ้นงานที่มีความหนามากจะใช้เวลาสองเท่าของ t_{90}

เป็นเวลาในการคงรูป แต่ไม่ใช้เวลาสองเท่าของ t_{98} เพราะการใช้เวลาสองเท่าของ t_{98} เป็นเวลาในการขึ้นรูปที่นานเกินไป อาจทำให้สมบัติของยางเปลี่ยนแปลงไปได้ จึงหลีกเลี่ยงมาใช้เวลาสองเท่าของ t_{90} แทน

รูปที่ 3.9 เครื่องมือที่ใช้ในการคงรูป

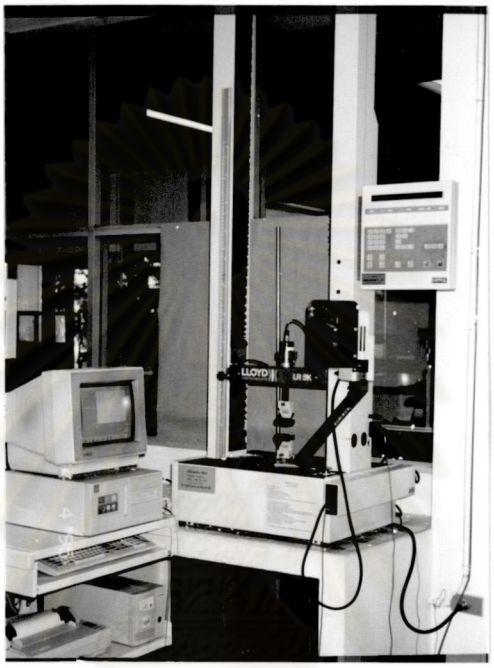
3.2.6 นำยางที่คงรูปแล้วมาตัดให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ เพื่อทดสอบในขั้นตอนต่อไป โดยใช้เครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม (compress air sample cutter)

รูปที่ 3.10 เครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม

3.3 ทดสอบสมบัติของสารประกอบยาง

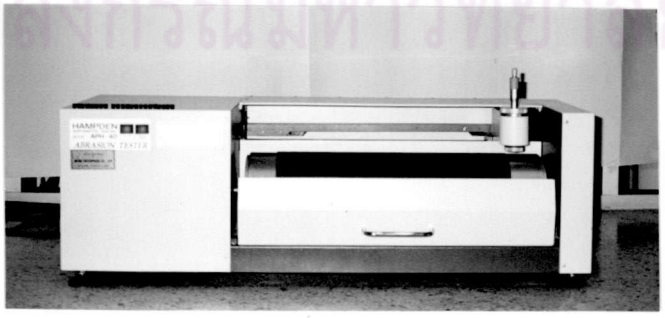
3.3.1 ความทนทานต่อแรงดึง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412-92 โดยเครื่อง LLOYD instruments : LR5K และมีเลเซอร์เป็นเครื่องคอยจับระยะของการยืดของยาง load cell ที่ใช้มีขนาด

1000 นิวตัน โดยก่อนทำการทดสอบต้องนำแผ่นตะกั่วที่ตัดเป็นแถบเล็กๆ มาติดที่ชิ้นงานรูปดัมเบลล์ทั้งหัวและท้ายของช่วงที่ต้องการวัดการยืดก่อน เพื่อที่เครื่องเลเซอร์สามารถจะจับระยะยืดของยางได้ โดยความเร็วของการดึงประมาณ 20 นิ้วต่อนาที เมื่อชิ้นงานถูกดึงจนขาด ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องทดสอบ



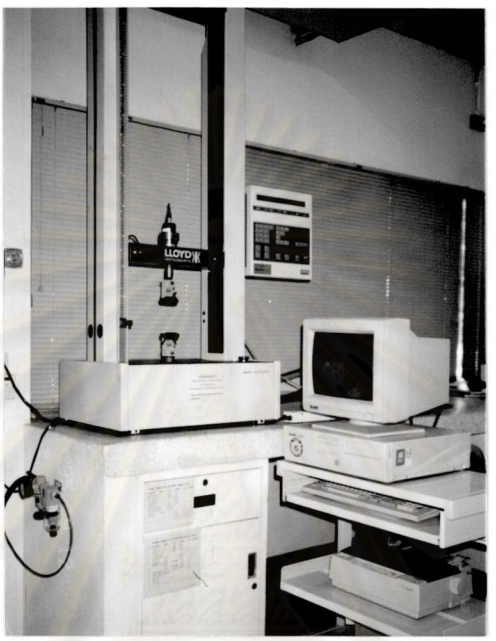
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง

3.3.2 ความต้านทานต่อการสึกหรอ ทดสอบตามมาตรฐาน DIN 53516 โดยเครื่อง DIN abrader การทดสอบจะนำชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมาใส่ในช่องสำหรับใส่ชิ้นงาน แล้วเปิดให้เครื่องทำงาน โดยชิ้นงานจะเลื่อนไปตามแนวยาวของเครื่อง ในขณะที่เครื่องซึ่งมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์จะหมุนอยู่ตลอดเวลา แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความสึกหรอ



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ

3.3.3 ความต้านทานต่อการฉีกขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2262-83 โดยเครื่อง LLOYD instruments : LS500 ลักษณะของการทดสอบคล้ายกับการทดสอบความต้านทานแรงดึงแต่จะต่างกันที่โปรแกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ และการทดสอบสมบัติในด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดนี้ไม่ต้องใช้เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ และใช้ load cell 500 นิวตัน



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

3.3.4 ความแข็ง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2240-86 โดยเครื่อง Lever Loader Model 917 สำหรับยางที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้น้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม และใช้ shore A เป็นหัววัดที่ใช้ในการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบต้องทำการตรวจสอบการอ่านค่าความแข็งจากยางมาตรฐานที่ใช้กับ Shore A ก่อน โดยยางมาตรฐานมีดังนี้

A ความแข็ง 33.1	E ความแข็ง 71.8
B ความแข็ง 41.9	F ความแข็ง 80.5
C ความแข็ง 55.7	G ความแข็ง 90.1
D ความแข็ง 63.2	

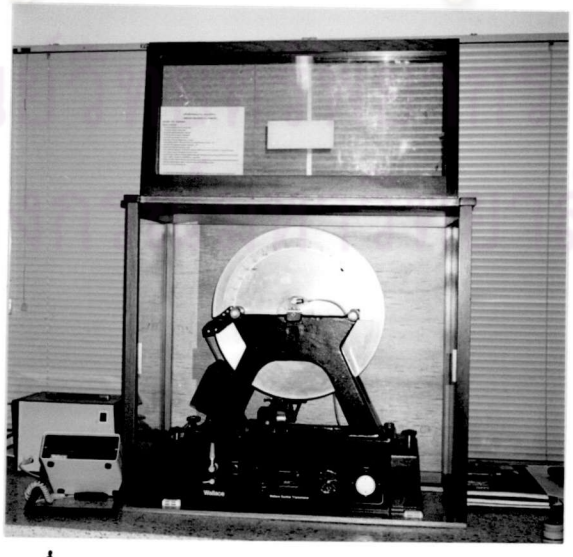
การทดสอบกับยางมาตรฐานทำได้โดย ปรับระยะห่างระหว่างหัวกับฐานรองรับชิ้นทดสอบให้ได้ประมาณ 5 มิลลิเมตร วางตุ้มน้ำหนักถ่วงขนาด 1 กิโลกรัม บนแกนรองรับของหัววัด แล้วทำการทดสอบเครื่องด้วยยางมาตรฐานเป็นเวลา 1 วินาที เมื่อทดสอบกับยางมาตรฐานได้แล้วจึงนำชิ้นทดสอบมาทำการทดสอบเป็นเวลา 15 วินาที

สำหรับยางอ่อนจะใช้ Shore A หรือ Shore B และใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม ส่วนยางแข็งจะใช้ Shore C หรือ Shore D และใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วง 5 กิโลกรัม

รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบความแข็ง

3.3.5 การกระดอน ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 4662 โดยเครื่อง Wallace Dunlop Tripsometer ก่อนทำการทดสอบต้องทำการอุ่นชิ้นทดสอบเป็นเวลา 5 นาที ตั้งจานเหวี่ยงที่ 45° ปล่อยจานเหวี่ยงลงตีชิ้นทดสอบ แล้วทำเช่นนี้ซ้ำ 6 ครั้ง เพื่อเป็นการอุ่นชิ้นทดสอบ

เริ่มทำการทดสอบชิ้นทดสอบ โดยทำการตั้งจานเหวี่ยงที่ 45° ปล่อยจานเหวี่ยงลงตีชิ้นทดสอบ บันทึกค่าที่ได้ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ของการกระดอน

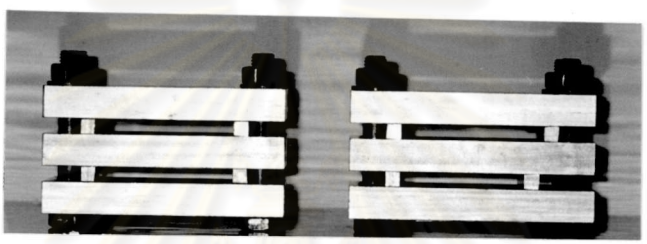


รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบการกระดอน (Wallace Dunlop tripsometer)

3.3.6 การคืนตัว ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 395-89 โดยเครื่อง Compression Set Tester MILANO/ITALIA นำชิ้นทดสอบมากดให้ได้ความหนาลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 9.5 มิลลิเมตร แล้วทิ้งไว้ 22 ชั่วโมง จึงนำมาวัดความหนาที่ลดลง แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของชิ้นทดสอบ ค่าการคืนตัวน้อยแสดงว่ามีการคืนตัวที่ดี ค่าการคืนตัวมากแสดงว่ามีการคืนตัวไม่ดี

การคืนตัวสามารถคำนวณได้ตามสูตร

$$\text{การคืนตัว} = \frac{(\text{ความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ} - \text{ความหนาของชิ้นงานหลังทดสอบ})}{(\text{ความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ} - \text{ความหนาของแท่งเหล็ก})} \times 100$$



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการคืนตัว

3.3.7 การบ่มเร่งด้วยความร้อน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D573 โดยเครื่อง Ueshima (Geer's rubber aging oven) ซึ่งทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติก่อนและหลังอบด้วยความร้อน สำหรับสมบัติความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง การกระดอน และการคืนตัว โดยนำชิ้นงานที่จะทดสอบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นอย่างน้อยครึ่งชั่วโมงในอุณหภูมิที่จะทดสอบ แล้วนำไปทดสอบสมบัติที่ต้องการ

ตัวกลางที่ให้ความร้อนภายในตู้อบจะเป็นอากาศร้อนซึ่งหมุนเวียนอยู่ภายใน การให้ความร้อนต้องสม่ำเสมอทั่วถึง การวางชิ้นงานในตู้อบนั้น ไม่สามารถวางชิ้นงานบนพื้นของตู้อบได้ เนื่องจากความร้อนที่ชิ้นงานได้รับนั้นจะไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน โดยชิ้นทดสอบจะถูกแขวนในแนวดิ่ง โดยไม่สัมผัสกับตู้อบหรือสัมผัสกันเองเลย