

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ  
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

วศ  
กฟ  
อว 51

เรื่องที่ 2

การศึกษาสูตรและเทคโนโลยีการผลิต  
ยางแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

โดย

นายพยับ นามประเสริฐ  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1  
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

เรื่องที่ 2

การศึกษাসูตรและเทคโนโลยีการผลิต  
ยางแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

เลขที่	วศ/
	วศ 51
เลขทะเบียน	9946
วันที่	14 พค. 44

โดย

ด้วยฉันทนาการ
จาก
วศ.

นายพยับ นามประเสริฐ  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1  
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## บทคัดย่อ

ในปี 2544 ประเทศไทยต้องเปิดเสรีในการใช้ชิ้นส่วนยานยนต์ประกอบรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ดังนั้นอุตสาหกรรมยางชิ้นส่วนยานยนต์ จำเป็นต้องมีการพัฒนาทั้งด้านคุณภาพ เทคโนโลยีการผลิต และราคา เพื่อสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

การศึกษานี้ได้พัฒนาสูตร และสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตยางแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ (exhaust hanger isolators) จากผลการทดลองสูตรยางต่าง ๆ แล้วนำยางมาทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการใช้งานพบว่าสูตรยางที่ 23 มีความเหมาะสมสำหรับทำเป็นยางแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ โดยใช้สภาวะในการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1.6 นาที จะได้ยางที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติการใช้งานเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการ โดยมีต้นทุนที่เหมาะสมสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

แนวทางการศึกษาวิจัยต่อ อาจทำได้โดยทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดียิ่งขึ้น ลดต้นทุนให้ต่ำลงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้นได้ โดยการปรับปริมาณของสารเติมแต่งสมบัติยาง เช่น Carbon black, Silica และสารในระบบการทำให้ยางคงรูป เช่น ปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ ปริมาณกำมะถัน เป็นต้น

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	1
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	2
2.1 ยางเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน เทอร์โพลีเมอร์	2
2.2 สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง	4
2.3 องค์ประกอบของสูตรยาง	6
2.4 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง	6
2.5 วัตถุดิบยางที่ใช้ในการผลิตยางขึ้นล้น่วนยานยนต์	8
บทที่ 3 วิธีการทดลอง และผลการทดลอง	9
3.1 วัตถุดิบยางและสารเคมี	9
3.2 เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์	10
3.3 วิธีการทดลอง และผลการทดลอง	11
บทที่ 4 วิจัยารณ์ผลการทดลอง	20
4.1 สูตรยางที่ 1-6 (ตารางที่ 1)	20
4.2 สูตรยางที่ 7-13 (ตารางที่ 2)	20
4.3 สูตรยางที่ 14-19 (ตารางที่ 3)	20
4.4 สูตรยางที่ 20-23 (ตารางที่ 4)	20
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	21
คำขอขอบคุณ	22
เอกสารอ้างอิง	23

	หน้า
ภาคผนวก	
การทดสอบสมบัติเชิงกล .....	24
ดังรูปที่ 1-4	
รูปที่ 1 เครื่องวัดความแข็ง .....	24
รูปที่ 2 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ .....	25
รูปที่ 3 เครื่องมืออัด สำหรับทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด .....	29
รูปที่ 4 ชิ้นทดสอบความทนทานต่อการใช้งาน .....	31

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	อัตราการผลิตและสมบัติเชิงกล ของสูตรยางที่ 1-6 .....	12
ตารางที่ 2	อัตราการผลิตและสมบัติเชิงกล ของสูตรยางที่ 7-13 .....	14
ตารางที่ 3	อัตราการผลิตและสมบัติเชิงกล ของสูตรยางที่ 14-19 .....	16
ตารางที่ 4	อัตราการผลิตและสมบัติเชิงกล ของสูตรยางที่ 20-23 เปรียบเทียบกับ เกณฑ์กำหนดมาตรฐานของลูกค้า .....	18

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา

ยางที่ใช้เป็นชิ้นส่วนยานยนต์มีอยู่มากมายหลายชนิดแตกต่างกันออกไปตามรูปแบบ ลักษณะและสภาวะการใช้งาน ชิ้นส่วนยางที่มีสภาพการใช้งานที่แตกต่างกันก็ต้องการสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ชิ้นส่วนบางชนิดอาจต้องการให้ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ทนแดด ทนฝนและความร้อนได้ดี ชิ้นส่วนบางชนิดอาจต้องการให้ทนทานต่อน้ำมัน เป็นต้น ดังนั้นอุตสาหกรรมยางจึงต้องมีการพัฒนา วัตถุดิบยาง, สารเคมีผสมยาง, สูตร และเทคโนโลยีการผลิตยางชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อสามารถผลิตยางชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีคุณภาพดี เหมาะสมกับการใช้งานและก้าวทันกับเทคโนโลยียานยนต์ที่พัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว

การศึกษานี้ต้องการวิจัยและพัฒนาสูตรและเทคโนโลยีการทำยางชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ที่ใช้สำหรับแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ (exhaust hanger isolators) โดยทำการทดลองหาสูตรและสภาวะในการทำให้ยางคงรูปที่เหมาะสม สำหรับผลิตยางแขวนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ที่มีคุณภาพดี ราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพการผลิตสูงสามารถแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิจัยหาสูตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตยางแขวนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ ที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการ โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำสามารถผลิตจำหน่ายแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาเอกสาร ตำราด้านอุตสาหกรรมที่ใช้ทำยางชิ้นส่วนยานยนต์
- 1.3.2 ศึกษาทดลองสูตรและกระบวนการผลิต
- 1.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการใช้งานของยางตัวอย่างจากการทดลอง
- 1.3.4 วิจัยและสรุปผลการศึกษาทดลอง

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1.4.1 ได้สูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสม สำหรับการผลิตยางแขวนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์
- 1.4.2 เผยแพร่ให้โรงงานอุตสาหกรรมยาง นำไปผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์
- 1.4.3 เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมยางของประเทศ

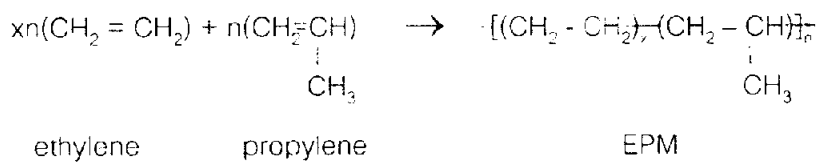
### 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

เมษายน 2541 – มีนาคม 2542

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 ยางเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน เทอร์โพลีเมอร์ (Ethylene-propylene-diene terpolymer, EPDM) <sup>(1)</sup>

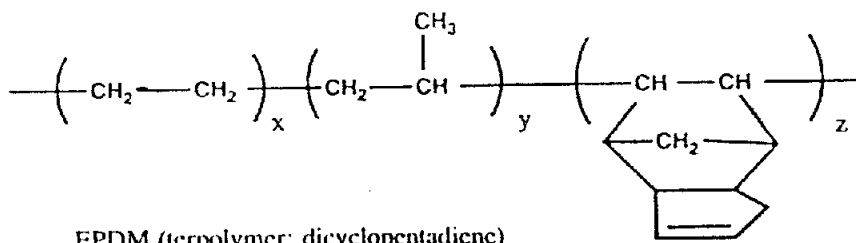
เนื่องจากเอทิลีน (ethylene) และ โพรพิลีน (propylene) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำพลาสติก โพลีเอทิลีน (polyethylene, PE) และโพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นก๊าซที่มีราคาถูกและเมื่อนำมาทำเป็นพลาสติกก็มีสมบัติที่ดี สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ดังนั้นจึงได้มีการนำเอทิลีน และโพรพิลีนมาเป็นวัตถุดิบในการทำยาง



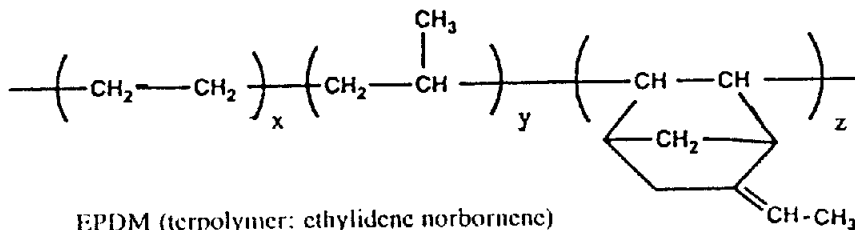
ยางเอทิลีน-โพรพิลีน (ethylene-propylene copolymer, EPM) จะมีปริมาณเอทิลีน 45-60% ดังนั้นยางจึงไม่เกิดการตกผลึก (crystallization) แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเอทิลีนมากขึ้นเป็น 70-80% ยางจะเกิดการตกผลึกบางส่วน (partial crystallization) เปอร์เซ็นเอทิลีนที่สูงขึ้นจะทำให้ยางมีความต้านแรงดึง (green strength) สูงขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตยากยิ่งขึ้น ยาง EPM เป็นยางที่มีสมบัติดี แต่มีปัญหาเรื่องการควบคุมกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากและควบคุมยาก จึงมักทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากยาง EPM เป็นยางที่ไม่มีพันธะคู่ (double bond) ซึ่งพันธะคูมีความสำคัญในการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป (vulcanization) โดยใช้กำมะถัน ดังนั้นการทำให้ยาง EPM คงรูปจะต้องใช้สารพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้เร็วและควบคุมปฏิกิริยายาก จึงไม่สะดวกในการผลิต

ได้มีการพัฒนายาง EPM โดยเติมโมโนเมอร์ (monomer ชนิดที่สามที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลเพิ่มเข้าไป แต่เพื่อรักษาสายโซ่โมเลกุลหลัก (main chain) ของยาง EPM เอาไว้ เพื่อให้ยังคงมีสมบัติทนความร้อนและสถานะแวดล้อมได้ดีเหมือนเดิม จึงควบคุมปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ (polymerization) ให้ส่วนที่เป็นพันธะคู่ของโมโนเมอร์ชนิดที่สามเป็นหมู่ข้างเคียง (side group) ของสายโซ่โมเลกุลหลัก โดยใช้โมโนเมอร์ชนิดที่สามประมาณ 4-5% ก็จะทำให้ยางมีพันธะคู่เพียงพอสำหรับเกิดปฏิกิริยายางคงรูปด้วยกำมะถัน ถ้าใช้มากกว่านี้ปฏิกิริยายางคงรูปจะเกิดเร็วเกินไป โมโนเมอร์ชนิดที่สามมักใช้ ไดไซโคลเพนทาไดอีน (dicyclopentadiene), เอทิลิดีน นอร์บอเนน (ethylidene norbornene) และ 1, 4 - เฮกซาไดอีน (1, 4-hexadiene)

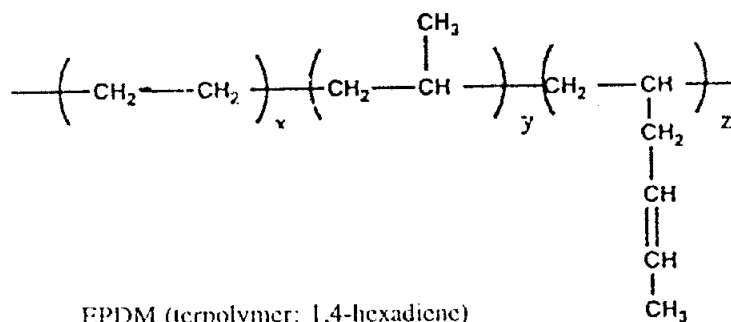




EPDM (terpolymer: dicyclopentadiene)



EPDM (terpolymer: ethylidene norbornene)



EPDM (terpolymer: 1,4-hexadiene)

เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลหลักของยาง EPM และ ยาง EPDM ไม่มีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (unsaturation) จึงทำให้มีสมบัติทนทานต่อออกซิเจน, รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV light), โอโซน, ความร้อน และสภาวะแวดล้อมได้ดีมาก แต่จะไม่ทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายต่าง ๆ ประโยชน์ใช้ทำท่ออย่างสำหรับรถยนต์ ยางขอบกระจก ขอบประตูรถยนต์ ทำสายพานลำเลียง และยางหุ้มสายไฟฟ้าสายเคเบิล

การใช้ยาง EPDM ในอุตสาหกรรมยางขึ้นส่วนยานยนต์ มีข้อดี ข้อเสีย และประโยชน์การใช้งาน ดังนี้

#### ข้อดี

- ทนต่อสภาวะแวดล้อม ความร้อนและโอโซน
- ทนต่อน้ำมันเบรค และน้ำยาเติมหม้อน้ำสำหรับหล่อเย็นเครื่องยนต์
- ราคาถูก สามารถผสมกับสารเติมแต่งสมบัติยางและสารช่วยให้ยางนิ่มได้ในปริมาณมาก

#### ข้อเสีย

- ไม่ทนต่อน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันเครื่อง

#### ประโยชน์

- ทำยางขอบกระจก ขอบประตูรถยนต์
- ทำยางชิ้นส่วนภายนอก เช่น ยางกันชน, ท่อยาง-หม้อน้ำ, ยางชิ้นส่วนระบบเบรก, ยางหุ้มสายไฟระบบจุดระเบิด และยางแขวนท่อไอเสีย (exhaust hanger isolators)

## 2.2 สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง (Rubber processing chemicals)<sup>(10)</sup>

ในการนำยางไปทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะต้องมีการเติมสาร rubber processing chemicals หรือ rubber compounding materials ลงไป โดยมีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน ได้แก่

- เพื่อให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เช่น ในขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี และการขึ้นรูปยาง เป็นต้น
- เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ
- เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจาก filler บางชนิดมีราคาสูงกว่ายางมาก จึงเติมลงไปเพิ่มเนื้อ

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

### 2.2.1 สารทำปฏิกิริยายางคงรูป (Vulcanizing agents หรือ Curing agents)

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อให้ยางคงรูป โดยเกิดการเชื่อมข้าม chain (cross-linking) ของยาง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยา vulcanization หรือ curing ตัวอย่างสารจำพวกนี้ได้แก่ sulphur, sulphur monochloride, selenium, tellurium, thiuram disulphide, zinc oxide, magnesium oxide และสารพวก organic peroxide

### 2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป (Vulcanization accelerators)

เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา vulcanization ให้เกิดเร็วขึ้นจากชั่วโมงให้เหลือเพียงไม่กี่นาที นอกจากนั้นยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลงและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น accelerators ส่วนมากจะมีไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น mercaptobenzothiazole (MBT), diphenyl guanidine (DPG)

### 2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป (Accelerator activators)

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อช่วยให้ accelerators ทำงานได้ดียิ่งขึ้น แบ่งออกเป็น inorganic activators ได้แก่พวก metal oxides เช่น zinc oxide, magnesium oxide และ organic activators ได้แก่พวก long chain saturated fatty acids เช่น stearic acid, oleic acid

### 2.2.4 สารหน่วงปฏิกิริยายางคงรูป (Retarders)

คือ สารที่ช่วยให้ vulcanization เกิดช้าลง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรงข้ามกับ accelerators และ activators โดย retarders จะยับยั้งไม่ให้อายุเกิด vulcanized ในขณะที่กำลังผสมยางกับสารเคมีและใน

ขณะขึ้นรูปยางหรือเรียกว่าช่วยให้มี processing safety ได้แก่ salicylic acid, benzoic acid, phthalic anhydride

### 2.2.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antioxidants)

เป็นสารที่จัดอยู่ในพวกเดียวกับ antiozonants, antiflex cracking agents และ age resistors คือป้องกันผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากการถูกทำให้เสื่อมสภาพ โดย ออกซิเจน โอโซน แสงสว่างและความร้อน antioxidants แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ สารพวก amines เช่น alkylated diphenylamines, alkylated หรือ arylated p-phenylenediamines และสารพวก phenols เช่น substituted phenols, bisphenol โดย antioxidants พวก amines เป็น antioxidants ที่แรงกว่าพวก phenols แต่มันจะทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสี (staining) ได้ จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อน

### 2.2.6 สารเติมแต่งสมบัติยาง (Fillers)

ได้แก่สารที่ใส่ลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามความต้องการ หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น หรือเพื่อลดต้นทุน

fillers แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ reinforcing filler และ extending filler

- Reinforcing filler เป็นสารที่ใส่ลงไปช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ดีขึ้น คือ แรงดึงขาด, แรงฉีก, ความทนทานต่อการลึกร่อนและความแข็งเพิ่มขึ้น สารพวกนี้ได้แก่ carbon black, silica, zinc oxide

- Extending filler เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อจุดประสงค์ในการลดต้นทุนแต่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยทำให้สมบัติแรงดึงขาดลดลง และสมบัติเชิงกลอื่น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้กระบวนการผลิตยากหรือง่ายขึ้น สารพวกนี้ได้แก่ clays, calcium carbonate, barytes และ talcum

### 2.2.7 สารทำปฏิกิริยาให้ยางนิ่ม (Peptizers)

เป็นสารที่เติมลงไปแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยากับ polymer ทำให้ polymer chain สั้นลง เป็นผลให้ยางอ่อนตัวลงและความหนืดลดลง ช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้นแต่ขณะเดียวกันก็มีผลให้สมบัติเชิงกลของยางลดลงด้วย เช่น aromatic mercaptans (thiophenols)

### 2.2.8 สารช่วยให้ยางนิ่ม (Plasticizers หรือ Softeners)

คือสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ยางอ่อนตัว (โดยไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี) เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เร็วขึ้น และช่วยลดอุณหภูมิการผลิตให้ต่ำลง นอกจากนั้นยังช่วยในการอัดแบบแม่พิมพ์ (molding) ขณะทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งลดลงด้วย เช่น fatty acids, vegetable oils, mineral oils, pine tar และ coal tars

### 2.2.9 ผงสี (Pigments)

ผงสีเป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งที่ใช้ผสมกับยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีต่าง ๆ เช่น สีขาว ส่วนมากใช้ titanium dioxide, zinc oxide สีแดงใช้ iron oxide นอกจากสีพวก inorganic pigment แล้ว อาจใช้สีพวก organic pigment ก็ได้ แต่สีพวก organic pigment มักไม่ค่อยคงตัว (stable) เหมือนสีพวก inorganic pigment จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม

### 2.2.10 สารทำให้อย่างเกิดรูพรุน (Blowing agents)

เป็นสารที่ทำให้เกิดก๊าซ ใช้ในการทำยางพองน้ำ เช่น sodium bicarbonate, ammonium carbonate, ammonium bicarbonate และสารอินทรีย์ที่มีสมบัติแตกตัวให้ก๊าซในโตรเจนเมื่อได้รับความร้อน

## 2.3 องค์ประกอบของสูตรยาง (Rubber Compounding Formular)<sup>(10)</sup>

ยางดิบ (raw rubber) ที่ยังไม่ได้ผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ องค์ประกอบที่ผสมลงไปใยางจะช่วยให้ยางมีสมบัติ เช่น plasticity, elasticity, toughness, hardness, softness, abrasion resistance, impermeability และสมบัติอื่น ๆ เหมาะสมกับความต้องการ เพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่าง ๆ

สูตรพื้นฐานของยาง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ในอัตราส่วน ดังนี้

Rubber	100
Sulfur	2.5-3.5
Actovator	1-5
Accelerator	0.5-1.5
Antioxidant	1-2
Filler	as required
Softener	5-10

## 2.4 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง (Manufacturing processes)<sup>(10)</sup>

กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากยาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

### 2.4.1 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

ยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ตามสูตร เช่น filler, plasticizer, vulcanizing agent, antioxidant และ pigment จะต้องผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางโดยขั้นแรกจะต้องนำยางไปบด (masticate) เพื่อให้ยางอ่อนตัวเป็นการเพิ่ม plasticity และลด viscosity ของยาง ซึ่งจะทำให้สารเคมีต่าง ๆ

ผสมเข้ากับยางได้ง่ายขึ้น ในการผสมยางกับสารเคมีแต่ละครั้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ จะต้องควบคุมสิ่งต่อไปนี้เป็นคือ อุณหภูมิและเวลาในการผสม ลำดับของการใส่สารเคมีลงไปผสมกับยางและ ต้องคำนึงถึงสมบัติของยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วย เครื่องจักรที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมี มี 2 แบบ คือ open-rolls mill (two-rolls mill) กับ internal mixer

Two-rolls mill มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 ลูก วางขนานกันในแนวระนาบ มีสกรูลำหรับปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก (nip) ลูกกลิ้งทั้งสองลูกจะหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ถ้าใช้สำหรับยางธรรมชาติ อัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้า (front roll) ต่อลูกกลิ้งหลัง (back roll) จะเท่ากับ 1:1.25 แต่ถ้าเป็นยางสังเคราะห์การผสมด้วยลูกกลิ้งจะค่อนข้างยาก และอัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลังจะเท่ากับ 1:1 (โดยประมาณ) ยางสังเคราะห์มักนิยมผสมด้วย internal mixer ภายในลูกกลิ้งแต่ละลูกจะมีระบบทำความเย็นเพื่อช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ความปลอดภัย (safety), ถาดรองรับสารเคมี (tray), ที่กั้นยาง (guides), มีดตัดยาง (cutting knives), แผ่นขูดยาง (scraper blade)

Internal mixer ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Shaw Intermix และ Banbury Mixer, Internal mixer มีข้อดีกว่า Two-rolls mill คือสามารถผสมยางได้ครั้งละมาก ๆ ใช้งาน สะดวก รวดเร็ว และรักษาความสะอาดได้ง่าย

#### 2.4.2 การขึ้นรูปยาง (Forming)

ในขั้นนี้ยางที่ผสมกับสารเคมีแล้ว ที่เรียกว่า ยางคอมปาวด์ (compound rubber) จะถูกทำให้มีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งบางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะทำไปพร้อม ๆ กับขั้นตอนการทำให้ยางคงรูป (vulcanizing) ด้วยก็ได้ โดยแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีคือ

2.4.2.1 Molding เป็นการทำให้ยางคอมปาวด์ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ และทำให้คงรูปในแบบแม่พิมพ์ (mold) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ compression molding, transfer molding และ injection molding

2.4.2.2 Calendering เป็นการรีดยางคอมปาวด์ให้เป็นแผ่นหรือฉาบยางให้ติดกับผืนผ้า โดยใช้เครื่องรีดยางที่เรียกว่า calender ซึ่งอาจเป็นชนิดที่มีลูกกลิ้งสำหรับรีด 2, 3 หรือ 4 ลูกก็ได้

2.4.2.3 Extruding เป็นการอัดต้นยางคอมปาวด์ที่ถูกทำให้อ่อนตัวผ่าน die โดยใช้เครื่องอัดต้นยางที่เรียกว่า Extruder ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะ หน้าตัดมีขนาดเล็กแต่มีความยาวมาก (profile) เช่น ยางในรถยนต์ สายยาง ยางขอบกระจกและขอบประตูรถยนต์ เป็นต้น

2.4.2.4 Spreading เป็นการฉาบยางคอมปาวด์ให้ติดกับผืนผ้า ซึ่งนอกจากจะทำโดยวิธี calendering แล้ว สามารถใช้วิธี spreading โดยการละลายยางคอมปาวด์ในตัวทำละลาย (solvent) ที่เหมาะสม จนมีลักษณะเป็นของไหลเหนียวข้น (dough like) และฉาบลงบนผืนผ้า ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายกว่าการใช้ calender แต่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับตัวทำละลายและการเตรียมยางคอมปาวด์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

### 2.4.3 การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing)

การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing) เป็นการทำให้ยางเกิดการเชื่อมข้ามสายโซ่โมเลกุล (cross-linking) เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแห (three-dimensional network) ขั้นตอนนี้อาจกระทำไปพร้อมกับขั้นตอนการขึ้นรูปยางก็ได้ หลักการของ vulcanization คือ การให้ความร้อนแก่ยางคอมพาวด์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม โดยอาจใช้ความร้อนจาก ลมร้อน ไอน้ำ แผ่นความร้อนจากไฟฟ้าหรือ microwave ก็ได้

ปฏิกิริยายางคงรูปจะเกิดได้สมบูรณ์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ

2.4.3.1 ชนิดและปริมาณของสารเคมีในระบบการทำให้ยางคงรูป ซึ่งต้องทำให้เหมาะกับชนิดของยางด้วย เช่น ยางนีโอพรีนใช้ zinc oxide และ magnesium oxide เป็นสารทำปฏิกิริยายางคงรูป, ใช้ ethylene thiourea และ tetramethyl thiuram disulphide เป็นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป และใช้ stearic acid เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป

2.4.3.2 อุณหภูมิและเวลาที่เกิดปฏิกิริยายางคงรูปซึ่งต้องเหมาะสมกับสารเคมีที่ใช้ในข้อ 2.4.3.1 ด้วย

หลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปแล้ว โดยทั่วไปก็จะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาขัดและตัด ตกแต่งส่วนที่ไม่ต้องการออก ตรวจสอบความเรียบร้อย ตรวจสอบเช็คคุณภาพ (ตรวจ 100% หรือสุ่มตัวอย่าง) แล้วจึงบรรจุหีบห่อเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.5 วัสดุதியางที่ใช้ในการผลิตยางขึ้นส่วนยานยนต์ นอกจากจะใช้ยางธรรมชาติแล้ว ยางขึ้นส่วนยานยนต์บางชนิดอาจจำเป็นต้องใช้ยางสังเคราะห์ในการผลิตถึงแม้จะมีราคาแพงกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากยางสังเคราะห์มีสมบัติบางประการที่ดีกว่ายางธรรมชาติ คือมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม ความทนทานต่อความร้อนและความทนทานต่อน้ำมันได้ดีกว่ายางธรรมชาติ ดังนั้นยางขึ้นส่วนยานยนต์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน หรือมีโอกาสที่จะสัมผัสกับน้ำมันหรือต้องมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมและความร้อนด้วย จึงมักผลิตจากยางสังเคราะห์ แต่ก็จะต้องเลือกชนิดของยางสังเคราะห์ให้เหมาะสมด้วย

ในการศึกษาทดลองนี้ ต้องการทำยางแขวนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ ซึ่งต้องทนต่อความร้อนและสภาวะในการใช้งานที่รุนแรง จึงต้องใช้ยาง EPDM ในการศึกษาทดลองนี้

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบยาง และสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบยาง ใช้ยาง EPDM ซึ่งมีชื่อทางการค้า ดังต่อไปนี้

N 2470	}	ของบริษัทคูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด
N 1070		
EPT 3067	}	ของบริษัทมิตรชัย จำกัด
EPT 3072		
EPT 3045		
EPT 3090		
EPT 2450		

##### 3.1.2 สารเติมแต่งสมบัติยาง ใช้

- carbon black ชนิด

FEF black (Fine extrusion furnace black)

HAF black (High abrasion furnace black)

ISAF black (Intermediate abrasion furnace black)

SAF black (Super-abrasion furnace black)

- silica ใช้

H 225 ของบริษัทสยามซิลิกา จำกัด

##### 3.1.3 สารช่วยให้ยางนิ่ม ใช้ paraffinic oil

##### 3.1.4 สารช่วย dispersion ของสารเคมีในยาง ใช้ WB 212 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด EF 44 ของบริษัทเบนเมเยอร์ จำกัด

##### 3.1.5 สารกระตุ้นปฏิกิริยาอย่างคงรูป ใช้ zinc oxide และ stearic acid

##### 3.1.6 สารทำปฏิกิริยาอย่างคงรูป ใช้ dicumyl peroxide (DCP) และกำมะถัน

##### 3.1.7 สารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป ใช้

- TL (TETD) ของบริษัท เบนเมเยอร์ จำกัด

- TRA ของบริษัทดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด
- Z DBC ของบริษัทเบนเมเยอร์ จำกัด
- TT (TMTD) ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
- MBT ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด

### 3.1.8 สารร่วมทำปฏิกิริยาอย่างคงรูป (coagents) ใช้

- Santomer 350 ของบริษัทดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด
- DEG 4000 ของบริษัทดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด

### 3.1.9 สารป้องกันการยางเสื่อมสภาพ ใช้

- MB ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
- RD ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด

## 3.2 เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องผสมยางกับสารเคมีชนิดลูกกลิ้ง 2 ลูก (two-rolls mill)
- 3.2.2 เครื่องวัดอัตราการคงรูปของยาง (rheometer)
- 3.2.3 แบบแม่พิมพ์ยาง (mold)
- 3.2.4 เครื่องอัดไฮดรอลิคพร้อมแผ่นความร้อน (hydraulic press with heated plates)
- 3.2.5 แบบตัดและเครื่องกด (die and press)
- 3.2.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (tension tester)
- 3.2.7 เครื่องทดสอบความทนต่อแรงอัดของยาง (compression set apparatus)
- 3.2.8 เครื่องทดสอบความทนต่อน้ำมันของยาง
- 3.2.9 เครื่องวัดความแข็ง (hardness tester)
- 3.2.10 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- 3.2.11 เครื่องมือวัดความหนา (thickness gauge)
- 3.2.12 เครื่องชั่งละเอียด (electronic balance) 0.1 กรัม
- 3.2.13 เครื่องชั่งละเอียด (electronic balance) 0.0001 กรัม
- 3.2.14 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการใช้งาน (durability)



### 3.3 วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

3.3.1 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอย่างคงรูปด้วยกำมะถันและสารเพอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 180°C (สูตรยางที่ 1-6)

สูตรยางที่	1	2	3	4	5	6
N 2470	100	100	100	100	100	100
FEF black	60	40	60	60	60	60
HAF black	20	30	20	20	20	20
ISCF black	-	10	-	-	-	-
H 225	10	-	10	10	10	10
Paraffinic oil	50	55	50	50	50	50
Zinc oxide	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	-	-
EF 44	1	1	1	1	1	1
Sulphur	1	1	-	-	-	-
TL	0.4	0.4	-	-	-	-
TRA	0.5	0.5	-	-	-	-
ZDBC	0.8	0.8	-	-	-	-
TT	0.5	0.5	-	-	-	-
MBT	0.8	0.8	-	-	-	-
DCP 90%	-	-	2.5	3.5	3.0	3.0

สูตรยางที่ 1-6 ได้ปรับปรุงมาจากเอกสารทางการค้าของยาง EPDM (N 2470) ของบริษัทดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด

สูตรยางที่ 1 และ 2 ใช้กำมะถันในการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูป

สูตรยางที่ 3 – 6 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ในการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูป

ตารางที่ 1 อัตราการคงรูปและสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 1-6

อัตราคงรูปและสมบัติเชิงกล	สูตรยางที่					
	1	2	3	4	5	6
เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูปที่ 180°C, นาที	0.74	0.74	0.72	0.48	0.44	0.45
เวลาที่ยางคงรูปที่ 180°C, นาที	3.06	3.12	2.35	2.32	2.16	2.17
ความแข็ง, Shore A	67	64	67	63	67	67
ความต้านแรงดึง, kgf/cm <sup>2</sup>	179.7	185.1	106.1	144.1	126.8	135.4
ความยืดขณะขาด, %	416	466	614	511	511	452
เร่งอายุการใช้งานที่ 140°C เวลา 70 ชั่วโมง						
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+ 13	+ 8	+ 9	+ 8	+ 8	+ 8
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	+ 2	- 1	- 4	- 3.3	+ 2.1	+ 2.5
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	- 42.7	- 38	- 7.3	- 0.7	- 1.4	+ 3.7
ความทนแรงอัดที่ 140°C เวลา 22 ชั่วโมง, %	35.3	51.7	35.9	17.9	22.6	19.6

เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูป และเวลาที่ยางคงรูปของสูตรยางที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้กำมะถัน เกิดขึ้นช้ากว่าของสูตรยางที่ 3 – 6 ซึ่งใช้สารเพอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 180°C

สมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึงของสูตรยางที่ 1-2 ดีกว่าสูตรยางที่ 3-6 แต่ความยืดขณะขาด, เร่งอายุการใช้งานและความทนแรงอัดด้อยกว่าสูตรยางที่ 3-6

สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 1-6 ยังมีบางรายการที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานของลูกค้า

3.3.2 ศึกษาสมบัติของ EPDM เมื่อเกิดปฏิกิริยาอย่างคงรูปด้วยสารเพอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 160°C  
(สูตรยางที่ 7-13)

สูตรยางที่	7	8	9	10	11	12	13
EPT 3062	100	100	100	100	100	-	-
EPT 3072	-	-	-	-	-	100	-
EPT 2450	-	-	-	-	-	-	100
FEF black	80	70	50	70	-	60	80
ISAF black	-	-	-	-	60	-	-
H 225	15	15	12	-	-	-	-
Paraffinic oil	60	60	25	15	15	15	20
Zinc oxide	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.5	5.0
WB 212	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0
Santomer 350	2.5	2.5	3.5	2.5	2.5	3.0	3.0
DEG 4000	1.0	1.0	-	-	-	-	-
TT	0.25	0.25	-	-	-	-	-
DCP 90%	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	3.5

สูตรยางที่ 7 และ 8 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ 3.5 และ 3.0 phr. ตามลำดับ ร่วมกับสารร่วมทำปฏิกิริยา 1 phr. และสารเร่งปฏิกิริยา 0.25 phr.

สูตรยางที่ 9, 10 และ 11 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ 3.0 phr. โดยไม่ใช้สารร่วมทำปฏิกิริยาและสารเร่งปฏิกิริยา

สูตรยางที่ 12 และ 13 ทดลองเปลี่ยนชนิดของยาง EPDM และใช้สารเพอร์ออกไซด์ 2.5 และ 3.5 phr. ตามลำดับ

ตารางที่ 2 อัตราการคงรูปและสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 7-13

อัตราคงรูปและสมบัติเชิงกล	สูตรยางที่						
	7	8	9	10	11	12	13
เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูปที่ 160°C, นาที	1.57	1.85	0.77	0.74	0.70	0.88	0.79
เวลาที่ยางคงรูปที่ 160°C, นาที	10.06	10.47	12.37	12.25	12.37	11.49	15.17
ความแข็ง, Shore A	58	53	60	63	65	55	72
ความต้านแรงดึง, kgf/cm <sup>2</sup>	114.5	118.0	153.7	190.9	219.3	175.8	135.2
ความยืดขณะขาด, %	512	661	462	349	378	412	219
แรงอายุการใช้งานที่ 140°C เวลา 70 ชั่วโมง							
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+ 7	+ 5	+ 2	+ 1	+ 2	+ 2	+ 1
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	- 9.0	- 4.0	+ 8.0	- 5.3	- 5.0	- 3.3	+ 15
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	- 16.0	- 15.0	+ 5.3	+ 7.7	+ 14.3	+ 6.7	+ 21
ความทนแรงอัดที่ 140°C เวลา 22 ชั่วโมง, %	14.3	15.3	16.3	9.6	12.9	10.8	7.7
ความทนทานต่อการใช้งาน, รอบ	-	-	-	-	-	5,000	-

เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูป และเวลาที่ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 160°C เกิดเข้าเกินไปไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์

สูตรยางที่ 7, 8 และ 13 สมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดมาตรฐานของลูกค้า จึงไม่ได้ทดสอบความทนทานต่อการใช้งาน

สูตรยางที่ 9-12 สมบัติเชิงกลเกือบทุกรายการเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดมาตรฐานของลูกค้า ยกเว้นความทนทานต่อการใช้งานของสูตรยางที่ 12 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของลูกค้า และอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก จึงไม่ทำการทดสอบความทนทานต่อการใช้งานของสูตรยางที่ 9-11 ซึ่งคาดว่าผลการทดสอบจะใกล้เคียงกับสูตรยางที่ 12

3.3.3 ศึกษาสมบัติของ EPDM เมื่อเกิดปฏิกิริยาของยางคงรูปด้วยสารเพอร์ออกไซด์ และสารเพอร์ออกไซด์ร่วมกับกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 180°C (สูตรยางที่ 14-19)

สูตรยางที่	14	15	16	17	18	19
EPT 3062	100	100	-	-	55	-
EPT 3045	-	-	100	100	45	-
EPT 3072	-	-	-	-	-	100
FEF black	35	35	40	40	35	60
ISAF black	35	35	40	40	35	-
Paraffinic oil	30	30	54	54	40	15
Zinc oxide	4.0	4.0	5.0	5.0	4.5	3.5
WB 212	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5
Santomer 350	3.0	3.0	4.0	4.0	3.5	3.0
DCP 90%	1.5	2.5	2.0	3.0	3.0	2.5
Sulphur 99%	-	-	-	-	-	0.2

สูตรยางที่ 14 และ 15 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ 1.5 และ 2.5 phr.

สูตรยางที่ 16 และ 17 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ 2.0 และ 3.0 phr.

สูตรยางที่ 18 ใช้ยาง EPDM 2 ชนิดผสมกับ ((EPDM blend) และใช้สารเพอร์ออกไซด์ 3.0 phr.

สูตรยางที่ 19 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ 2.5 phr. ร่วมกับกำมะถัน 0.2 phr.

ตารางที่ 3 อัตราการคงรูปและสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 14-19

อัตราคงรูปและสมบัติเชิงกล	สูตรยางที่					
	14	15	16	17	18	19
เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูปที่ 180°C, นาที	-	0.46	-	0.78	0.60	0.52
เวลาที่ยางคงรูปที่ 180°C, นาที	-	2.17	-	2.56	2.41	2.91
ความแข็ง, Shore A	-	57	-	53	55	55
ความต้านแรงดึง, kgf/cm <sup>2</sup>	-	180.3	-	78.7	126.5	179.3
ความยืดขณะขาด, %	-	448	-	460	458	503
เร่งอายุการใช้งานที่ 140°C เวลา 70 ชั่วโมง						
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	-	+ 1	-	+ 5	+ 2	+ 2
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	-	+ 0.7	-	+ 10.6	+ 1.3	- 2.3
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	-	+ 7.3	-	+ 2.0	+ 6.7	- 7.7
ความทนแรงอัดที่ 140°C เวลา 22 ชั่วโมง, %	-	16.7	-	20.0	18.5	-
ความทนทานต่อการใช้งาน, รอบ	-	20,000	-	15,000	20,000	20,000

สูตรยางที่ 14 และ 16 ยางไม่เกิดปฏิกิริยาคงรูป จึงไม่สามารถทดสอบสมบัติเชิงกล

สูตรยางที่ใช้สารเพอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว ในการทำให้ยางคงรูป จะต้องใช้สาร เพอร์ออกไซด์มากกว่า 2 phr.

สูตรยางที่ 17 และ 18 สมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึง และความทนทานต่อการใช้งาน ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานของลูกค้า

สูตรยางที่ 15 และ 19 สมบัติเชิงกลเกือบทุกด้านเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานของลูกค้า ยกเว้นความทนทานต่อการใช้งาน

3.3.4 ศึกษาสมบัติของยาง EPDM 2 ชนิดผสมกัน (EPDM blend) และการเกิดปฏิกิริยาทางคงรูปด้วยสารเพอร์ออกไซด์ ร่วมกับกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 180°C (สูตรยางที่ 20-23)

สูตรยางที่	20	21	22	23
EPT 3072	85	-	-	-
EPT 3090	15	-	-	-
N 2470	-	50	10	10
N 1070	-	50	90	90
SAF black	30	70	80	80
FEF black	45	-	-	-
H 225	-	15	15	-
Paraffinic oil	11	35	45	36
Zinc oxide	4	5	5	5
Stearic acid	0.75	1.0	1.0	1.0
WB 212	-	1.0	1.0	1.0
MB	0.4	-	-	-
RD	0.75	-	-	-
Santomer 350	1.5	-	-	-
DCP. 40%	6.0	-	-	-
DCP. 90%	-	3.0	3.0	3.0
Sulphur 99%	-	0.2	0.2	0.1

สูตรยางที่ 20 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ DCP 40% = 6.0 phr. ในการทำปฏิกิริยาทางคงรูป

สูตรยางที่ 21, 22 และ 23 ใช้สารเพอร์ออกไซด์ DCP 90% = 3.0 phr. ร่วมกับกำมะถัน จำนวน 0.2, 0.2 และ 0.1 phr. ตามลำดับ

ตารางที่ 4 อัตราการคงรูปและสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 20-23  
เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐานของลูกค้า

อัตราคงรูปและสมบัติเชิงกล	สูตรยางที่				เกณฑ์กำหนด ของมาตรฐาน
	20	21	22	23	
เวลาที่ยางเริ่มเกิดคงรูปที่ 180°C, นาที	-	0.46	0.52	0.44	-
เวลาที่ยางคงรูปที่ 180°C, นาที	-	1.90	1.62	1.55	-
ความแข็ง, Shore A	62	58	53	55	55 – 75
ความต้านแรงดึง, kgf/cm <sup>2</sup>	173.0	140.7	125.8	140.8	140 (min)
ความยืดขณะขาด, %	351	542	758	626	350 (min)
เร่งอายุการใช้งานที่ 140°C เวลา 70 ชั่วโมง					
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+ 3	+ 6	+ 6	+ 6	+ 7 (max)
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	+ 0.7	+ 1.2	+ 1.1	+ 0.1	- 25 (max)
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	+ 3.0	- 7.1	- 13.9	+ 23.1	- 35 (max)
ความทนแรงอัดที่ 140°C เวลา 22 ชั่วโมง, %	-	19.4	- 43.8	23.4	50 (max)
ความทนทานต่อการใช้งาน, รอบ	44,960	100,000	400,000	330,000	200,000 (min)

สูตรยางที่ 20 และ 21 มีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด แต่ความทนทานต่อการใช้งานไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

สูตรยางที่ 22 สมบัติเชิงกล ด้านความต้านแรงดึงไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

สูตรยางที่ 23 มีสมบัติเชิงกลและความทนทานต่อการใช้งานเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

### 3.3.5 การทำยางคงรูป

- (1) ชั่งยางและสารเคมีที่เป็นประกอบตามสูตร (ในข้อ 3.3.1 ถึง 3.3.4) ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 กรัม
- (2) นำยางไปบดบน two-rolls mill เพื่อให้ยางอ่อนตัวและเกาะบนผิวลูกกลิ้งลูกหน้าของ two-rolls mill
- (3) ผสมสารเคมีต่าง ๆ ตามลำดับในสูตรให้เข้ากับยางเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)



- (4) รีดยางที่ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วที่เรียกว่ายางคอมปาวด์ (compound rubber) ให้มีความหนามากกว่าแบบแม่พิมพ์เล็กน้อย
- (5) ตัดตัวอย่างยางประมาณ 20 กรัม นำไปหาอัตราการคงรูปของยางด้วยเครื่อง rheometer
- (6) นำยางคอมปาวด์ไปเข้าแบบแม่พิมพ์เพื่อทำให้เป็นยางคงรูปบน hydraulic press with heated plates โดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่หาได้จากเครื่อง rheometer
- (7) แกะยางออกจากแบบแม่พิมพ์

### 3.3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคงรูป

ยางคงรูปที่ได้จะต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 1 วัน แต่ไม่ควรเกิน 4 วัน แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ดังต่อไปนี้

- (1) ความแข็ง (durometer hardness)
- (2) ความต้านแรงดึง (tensile strength)
- (3) ความยืดขณะขาด (elongation at break)
- (4) เร่งอายุการใช้งาน (accelerated aging)
- (5) การยุบตัวจากแรงอัด (compression set)
- (6) ความทนทานต่อการใช้งาน (durability)

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สูตรยางที่ 1-6 (ตารางที่ 1)

การเปรียบเทียบปฏิกิริยายางคงรูป ที่อุณหภูมิ 180°C พบว่า

- 5.1.1 ปฏิกิริยาของยางคงรูปด้วยกำมะถัน (สูตร 1 และ 2) เกิดช้ากว่าปฏิกิริยาของยางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide) (สูตร 3, 4, 5 และ 6)
- 5.1.2 ความต้านแรงดึงของยางที่คงรูปด้วยกำมะถัน มากกว่ายางที่คงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์
- 5.1.3 ความยืดหยุ่นของยางที่คงรูปด้วยกำมะถันน้อยกว่ายางที่คงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์
- 5.1.4 ยางที่คงรูปด้วยกำมะถัน ทนความร้อนได้น้อยกว่ายางที่คงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์

#### 4.2 สูตรยางที่ 7-13 (ตารางที่ 2)

การศึกษาปฏิกิริยาของยางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 160°C พบว่าปฏิกิริยายางคงรูปเกิดช้ากว่าที่อุณหภูมิ 180°C ประมาณ 5 เท่า

#### 4.3 สูตรยางที่ 14-19 (ตารางที่ 3)

การศึกษาปฏิกิริยายางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ เปรียบเทียบกับปฏิกิริยายางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 180°C พบว่า

- ถ้าใช้สารเปอร์ออกไซด์เพียง 2 phr. จะไม่เกิดปฏิกิริยายางคงรูป (uncure)
- อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยายางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์เทียบกับอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยายางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกำมะถัน นั้นมีอัตราเร็วใกล้เคียงกัน
- สมบัติเชิงกลของยางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกำมะถัน ดีกว่าสมบัติเชิงกลของยางที่คงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว

#### 4.4 สูตรยางที่ 20-23 (ตารางที่ 4)

ศึกษาปฏิกิริยายางคงรูปด้วยสารเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกำมะถัน และเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานของลูกค้า พบว่า สูตรยางที่ 23 ซึ่งใช้สารทำปฏิกิริยายางคงรูป 2 ชนิดร่วมกันคือ สารเปอร์ออกไซด์และกำมะถัน ที่อุณหภูมิ 180°C ปฏิกิริยายางคงรูปที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตคือ 1.55 นาที (cure 180°C 1.55 min) และยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลและความทนทานต่อการใช้งานเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

5.1 การคงรูปของยาง EPDM โดยใช้สารเพอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide) จำนวน 3 phr. ร่วมกับกำมะถันจำนวน 1-2 phr. ปฏิริยายางคงรูปจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 180°C และยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลดี ทนความร้อนได้สูงและมีสมบัติในการใช้งานที่ดี

5.2 สูตรยางที่ 23 เป็นสูตรยางที่เหมาะสมสำหรับการทำยางแขวนท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

ประกอบด้วย		
N 2470		10
N 1070		90
SAF black		80
Paraffinic oil		36
Zinc oxide		5
Stearic acid		1.0
WB 121		1.0
DCP 90%		3.0
Sulphur 99%		0.1

5.3 การศึกษาทดลองนี้สามารถศึกษาวิจัยต่อ เพื่อให้ได้ยางที่มีสมบัติดียิ่งขึ้น เนื่องจากค่าความแข็งและความต้านแรงดึง ถึงแม้จะเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานแต่ก็ค่อนข้างต่ำ การปรับชนิดและปริมาณสารเติมแต่งสมบัติยาง เช่น carbon black, silica ให้เหมาะสม หรือปรับปริมาณสารที่ใช้ในระบบการทำให้ยางคงรูป เช่น สารเพอร์ออกไซด์, กำมะถัน จะทำให้ยางมีสมบัติด้านความแข็งและความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น

## คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท คอมพลีท โอโตรับเบอร์ จำกัด ที่เชื่อเพื่อ ยาง สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ และได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการศึกษาทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

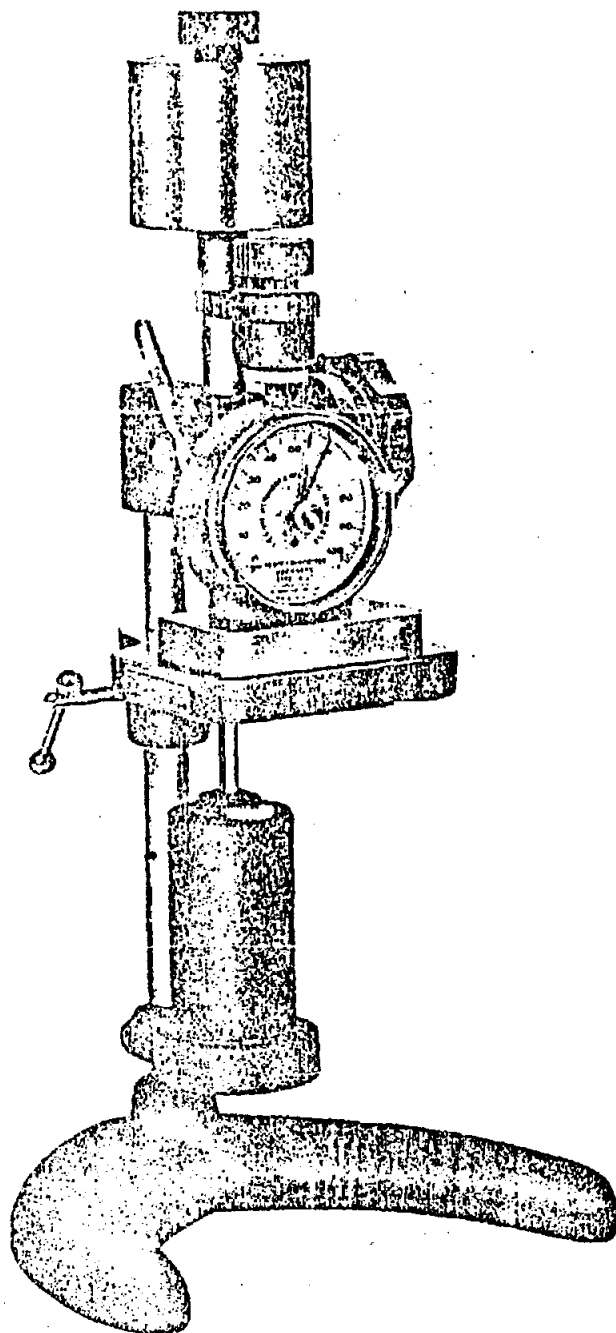
1. Anil, K.B.; Malcolm, M.H., and Henry, A.B. Rubber products manufacturing technology. New York: Marcel Dekker, Inc., 1994.
2. Colin, W.E. Practical rubber compounding and processing. London : Applied Science Publishers Ltd., 1981.
3. Colin, W.E. Developments in rubber and rubber composites – 1. London : Applied Science Publishers Ltd., 1980.
4. Mauric, M. Rubber technology. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Nostrand Reinhold Company, 1973.
5. Blow, C.M., and Hepburn, C. Rubber technology and manufacture. 2<sup>nd</sup> ed. London : Butterworth Scientific, 1982.
6. Abdul Azizbin, S.A.K. Natural rubber – current developments in product manufacture and applications. Kuala Lumpur : Rubber Research Institute of Malaysia, 1993.
7. Frederick, R.E. Science and technology of rubber. New York : Academic Press Inc., 1978.
8. Japanese Standard Association. Physical testing methods for vulcanized rubber. JIS K 6301. 1995.
9. Japanese Standard Association. Rubber materials for vibration isolators. JIS K 6386. 1977.
10. พายัพ นามประเสริฐ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 128 มกราคม 2535 และฉบับที่ 129 พฤษภาคม 2535.

ภาคผนวก  
การทดสอบสมบัติเชิงกล<sup>(8)</sup>

1. การทดสอบความแข็งของยาง

1.1 เครื่องมือ

เครื่อง spring type hardness tester type A (ตามรูป)



รูปที่ 1 เครื่องวัดความแข็ง

### 1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดแผ่นยางให้เป็นชิ้นทดสอบ ขนาด กว้าง x ยาว = 7 x 7 ซม. ผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ต้องเรียบ และขนานกัน ถ้าแผ่นยางมีความหนาไม่ถึง 12 มม. ให้ซ้อนกันจนได้ความหนาไม่น้อยกว่า 12 มม.

### 1.3 วิธีทดสอบ

วางชิ้นทดสอบที่แทนสำหรับวางชิ้นทดสอบของเครื่องวัดความแข็ง ปลดล็อกให้เครื่องวัดความแข็งกดลงบนชิ้นทดสอบ โดยฐานของเครื่องวัดความแข็งสัมผัสสนิทกับผิวของชิ้นทดสอบ และห่างจากขอบของชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 มม. อ่านค่าที่หน้าปัดเครื่องวัดความแข็งทันทีเป็นค่าความแข็ง การวัดให้วัด ณ จุดต่าง ๆ ไม่ซ้ำกัน 5 จุด

### 1.4 การรายงานผล

ให้รายงานผลความแข็งเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 5 ครั้ง หน่วยเป็น ° Shore A

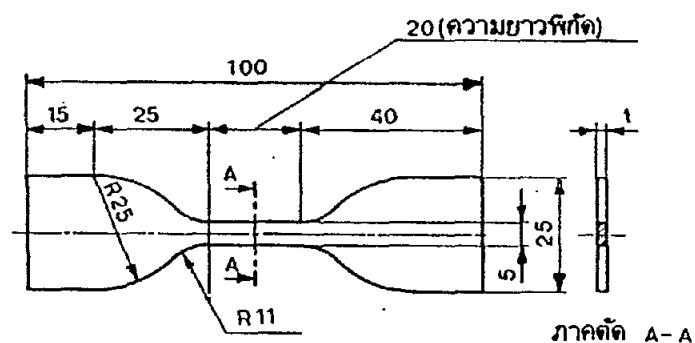
## 2. ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด

### 2.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง ต้องอ่านค่าแรงดึงสูงสุดได้ โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน  $\pm$  ร้อยละ 2 และปากจับต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $500 \pm 25$  มิลลิเมตรต่อนาที

### 2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2.1 ตัดแผ่นยางด้วยแบบตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ มีขนาดและรูปร่างดังรูป



t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์

2.2.2 ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น สำหรับความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่นขนาด

2.2.3 วัดความหนาและความกว้างส่วนขนานของชิ้นทดสอบ ดังนี้

(1) เครื่องมือที่ใช้วัดความหนา ต้องวัดได้ละเอียดถึง 0.01

มิลลิเมตร และมีแป้นกดรูปวงกลม ผิวหน้าเรียบ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร กดชิ้นทดสอบด้วยแรง  $0.80 \pm 0.12$  นิวตัน

(2) การวัดความหนา (t) ให้วัดหลาย ๆ จุดในช่วงความยาว

พิกัดของชิ้นทดสอบ และใช้ค่าต่ำสุดเป็นความหนาของชิ้นทดสอบ ในการวัด จะต้องไม่ให้จุดศูนย์กลางของแป้นกดเลยขอบของชิ้นทดสอบออกไป

(3) ความกว้างส่วนขนานของความยาวพิกัด ให้วัดจากความกว้างของแบบตัด

(4) ทำเครื่องหมายความยาวพิกัด 20 มิลลิเมตรให้ถูกต้องและ

เด่นชัดบนส่วนขนานของชิ้นทดสอบ โดยให้จุดกึ่งกลางของส่วนขนานเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวพิกัด

(5) พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบได้คำนวณ ดังนี้

พื้นที่ภาคตัดขวาง = ความหนา  $\times$  ความกว้าง ส่วนขนานของความยาวพิกัด

## 2.3 วิธีทดสอบ

จับชิ้นทดสอบด้วยปากจับให้แน่น และไม่ให้เกิดการบิดในระหว่างทดสอบ ดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็ว  $500 \pm 25$  มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นทดสอบขาด อ่านค่าแรงดึงสูงสุด พร้อมทั้งวัดระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวพิกัดขณะชิ้นทดสอบขาด

## 2.4 วิธีคำนวณ

คำนวณหาความต้านแรงดึงและความยืด จากสูตรดังต่อไปนี้

### 2.4.1 ความต้านแรงดึง

$$T_B = \frac{F_B}{A}$$

เมื่อ  $T_B$  คือ ความต้านแรงดึง เป็นเมกะพาสคัล

$F_B$  คือ แรงดึงสูงสุดที่ทดสอบ เป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบ ก่อนทดสอบเป็นตาราง มิลลิเมตร



### 2.4.2 ความยืดหยุ่นขนาด

$$E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ  $E_B$  คือ ความยืดหยุ่นขนาด เป็นร้อยละ

$L_1$  คือ ระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวที่กักตุนขึ้นทดสอบขนาด เป็น มิลลิเมตร

$L_0$  คือ ความยาวพิกัด เป็นมิลลิเมตร

### 2.5 การรายงานผล

ให้จัดเรียงค่าความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่นขนาดของชิ้นทดสอบของตัวอย่างแต่ละชิ้น จากมากไปหาน้อยตามลำดับ แล้วแทนด้วย

$T_{B1} > T_{B2} > T_{B3}$  สำหรับค่าความต้านแรงดึง และ

$E_{B1} > E_{B2} > E_{B3}$  สำหรับค่าความยืดหยุ่นขนาด แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยโดยใช้สูตร ดังต่อไปนี้

$$T_B = 0.7T_{B1} + 0.2T_{B2} + 0.1T_{B3}$$

$$E_B = 0.7E_{B1} + 0.2E_{B2} + 0.1E_{B3}$$

## 3. เร่งอายุการใช้งาน

ให้นำชิ้นทดสอบที่วัดความแข็งแรงเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ เช่นเดียวกับข้อ 2.2 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 70 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบตามข้อ 1.3 และข้อ 2.3

### 3.1 เครื่องมือ

- (1) เครื่องทดสอบหาแรงดึง เช่นเดียวกับข้อ 2.1
- (2) เครื่องอบต้องเป็นตู้อบที่เปลี่ยนอากาศภายนอกเข้าไปแทนที่อากาศภายในตู้ในอัตราสูงกว่าหนึ่งปริมาตรของตู้ต่อชั่วโมง และรักษาอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ภายในตู้อบไม่ให้ผิดกับอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางเกิน  $\pm 2$  องศาเซลเซียส และมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่ควบคุมให้ถูกต้องภายใน 1 องศาเซลเซียส

### 3.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ให้นำชิ้นทดสอบที่วัดความแข็งแรงเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ เช่นเดียวกับข้อ 2.2

### 3.3 วิธีทดสอบ

(1) นำชิ้นทดสอบมาเกี่ยวกับที่แขวนในตู้อบโดยไม่ให้เกิดความเค้นและชิ้นทดสอบต้องไม่แตะกันหรือแตะกับส่วนใด ๆ ของตู้อบ ชิ้นทดสอบทั้งหมดต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 1 กรัม ต่อ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรของปริมาตรภายในของตู้อบ ปรับอุณหภูมิภายในตู้ให้ได้  $100 \pm 1$  องศาเซลเซียส และอบไว้เป็นเวลา 70 ชั่วโมง

(2) การทดสอบหาความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่น ให้ทดสอบภายหลังจากการอบตามข้อ (1) และปล่อยให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง แล้วให้ทำการทดสอบภายในเวลา 16 ถึง 96 ชั่วโมง ตามวิธีการทดสอบในข้อ 1.3 และ ข้อ 2.3

### 3.4 วิธีคำนวณ

(1) ความแข็งเปลี่ยนแปลง

$$A_H = H_2 - H_1$$

เมื่อ  $A_H$  = ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A

$H_2$  = ความแข็งหลังอบ, Shore A

$H_1$  = ความแข็งก่อนอบ, Shore A

(2) ความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง

$$A_R = \frac{1}{3} \left[ \frac{S_{21} + S_{22} + S_{23}}{S_{11} S_{12} S_{13}} \right] \times 100$$

$$A_C = A_R - 100$$

เมื่อ  $A_R$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นที่เหลืออยู่, %

$A_C$  = ความต้านแรงดึงหรือและยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง, %

$S_{11} S_{12} S_{13}$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบก่อนอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย

$S_{21} S_{22} S_{23}$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบหลังอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย

### 3.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่า

ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A

ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %

ความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง, %

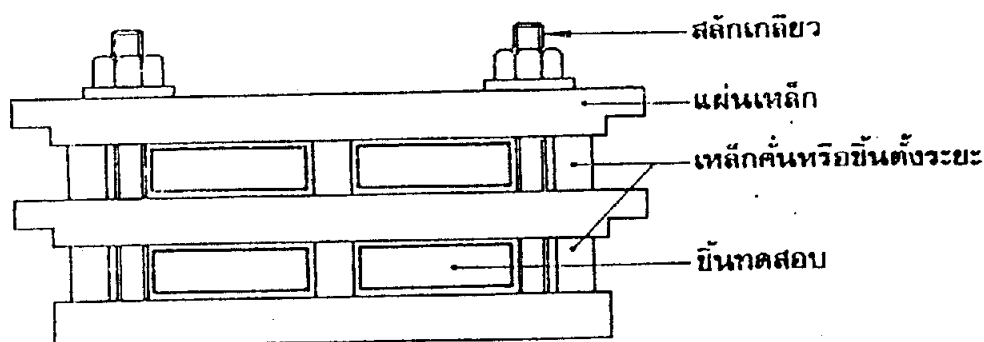
พร้อมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้เร่งอายุการใช้งาน

## 4. การทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด

### 4.1 เครื่องมือ

#### (1) เครื่องมืออัด

ประกอบด้วยแผ่นเหล็กชุบโครเมียมขัดมัน หรือแผ่นเหล็กที่ไม่เป็นสนิมขัดมัน 2 แผ่น หรือมากกว่าช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กนี้จะเป็นที่อัดขึ้นทดสอบ แผ่นเหล็กนี้จะต้องราบและเรียบ มีความแข็งแรงไม่อ่อนเมื่อรับแรง แผ่นเหล็กนี้จะอัดเข้าหากันโดยใช้สลักเกลียวขัน โดยมีเหล็กค้ำ (steel spacer) ซึ่งมีความหนา  $9.52 \pm 0.01$  มิลลิเมตร เพื่อกำหนดระยะที่จะขัน ตามรูป



รูปที่ 3 เครื่องมืออัด สำหรับทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด

#### (2) ตู้อบ

เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.1 (2)

### 4.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบต้องเป็นแผ่นกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.0 มิลลิเมตร หนา  $12.70 \pm 0.13$  มิลลิเมตร อาจเตรียมได้โดยการหล่อหรือตัด โดยตัดด้วยมีดตัดสำเร็จรูปวงกลม หรือตัดด้วยใบมีดซึ่งเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลม โดยหล่อขึ้นด้วยน้ำยาหรือน้ำสบู การตัดให้ทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดแรงกดมากเกินไป และต้องรองชิ้นทดสอบด้วยไม้หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม จำนวน 3 ชิ้น

### 5.3 วิธีทดสอบ

5.3.1 จะต้องทำให้เครื่องอัดมีอุณหภูมิเท่ากับห้องทดสอบและทำความสะอาดก่อนใช้ สารที่ใช้หล่อขึ้นต้องไม่ทำปฏิกิริยากับยาง

5.3.2 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ

- 5.3.3 ใส่ชิ้นทดสอบเข้าไปในช่องสำหรับอัด ชั้นสลักเกลียวให้แผ่นเหล็กเคลื่อนเข้าหากัน โดยสม่ำเสมอทุกด้าน อัดชิ้นทดสอบเข้าไป ประมาณร้อยละ 25 จนกระทั่งแผ่นเหล็กแตะกับเหล็กคั่นพอดี
- 5.3.4 ใส่เครื่องอัดที่อัดชิ้นทดสอบแล้วเข้าไปในตู้อบ ซึ่งมีอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 22 ชั่วโมง แล้วรืบนำออกมาคลายสลักเกลียวออก วางชิ้นทดสอบไว้บนฉนวน (เช่น ไม้) เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาอีกครั้งหนึ่ง

#### 4.4 คำนวณ

หาค่าการยุบตัวจากแรงอัดได้จากสูตร

$$C = \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_s} \times 100$$

- เมื่อ C คือ การยุบตัวจากแรงอัด เป็นร้อยละ
- $t_0$  คือ ความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดครั้งแรก เป็นมิลลิเมตร
- $t_1$  คือ ความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดครั้งหลัง เป็นมิลลิเมตร
- $t_s$  คือ ความหนาของเหล็กคั่น เป็นมิลลิเมตร

#### 4.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการยุบตัวจากแรงอัด เป็นร้อยละ  
อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทดสอบ

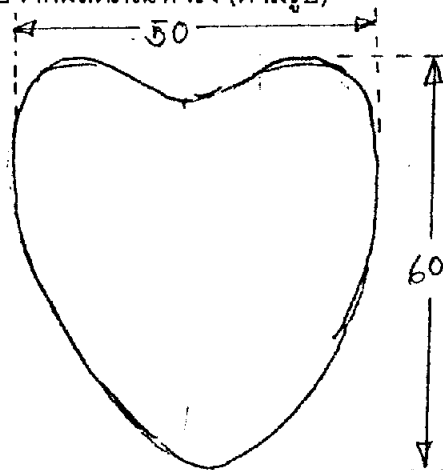
### 5. การทดสอบความทนทานต่อการใช้งาน

#### 5.1 เครื่องมือ

- 5.1.1 เครื่องดึงที่สามารถดึงยางด้วยแรง 10 กิโลกรัม แล้วปล่อยกลับเป็นรอบ ๆ ด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที พร้อมทั้งอ่านจำนวนรอบ
- 5.1.2 เครื่องอบต้องเป็นตู้อบที่เปลี่ยนอากาศภายนอกเข้าไปแทนที่อากาศภายในตู้ในอัตราสูงกว่าหนึ่งปริมาตรของตู้ต่อชั่วโมง และรักษาอุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ภายในตู้อบไม่ให้ผิดกับอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางเกิน  $\pm 2$  องศาเซลเซียส และมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่ควบคุมให้ตู้อบอยู่ใน 1 องศาเซลเซียส

## 5.2 ชั้นทดสอบ

ใช้ชั้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์จริง (ตามรูป)



หน่วย : มิลลิเมตร

รูปที่ 4 ชั้นทดสอบความทนทานต่อการใช้งาน

## 5.3 จำนวนชั้นทดสอบ

ให้ใช้ชั้นทดสอบจำนวน 3 ชั้น

## 5.4 วิธีการทดสอบ

- 5.4.1 นำชั้นทดสอบจำนวน 3 ชั้น แขนงในตู้อบที่อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 96 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลานำชั้นทดสอบมาไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบ
- 5.4.2 จับชั้นทดสอบด้านบนและด้านล่างของรูปหัวใจกับปากจับของเครื่องดึงให้แน่น เดินเครื่องดึงชั้นทดสอบด้วยแรง 10 กิโลกรัมและปล่อยกลับเป็นรอบ ๆ ด้วยอัตราความเร็ว 300 รอบต่อนาที จนชั้นทดสอบขาด อ่านจำนวนรอบที่ทำให้ชั้นทดสอบขาด

## 5.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยจำนวนรอบที่ทำให้ชั้นทดสอบขาด จากชั้นทดสอบจำนวน 3 ชั้น เป็นค่าความทนทานต่อการใช้งาน