

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของกำมะถันในยางอีโบนต์



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72198  
วัน,เดือน,ปี.....1.2...ส.ย...2550

b. 11741223  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **EFFECT OF SULFUR ON PROPERTIES OF EBONITE**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**


**2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง การศึกษาอิทธิพลของกัมมะถันที่มีต่อยางอีโบนินต์  
จัดทำโดย นางสาว ชวกร รอดพูล เลขประจำตัว 47015532  
นางสาว ปฐมาภรณ์ ททรัพย์เจริญ เลขประจำตัว 47015540  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร

  
.....ประธานกรรมการ  
(รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

  
.....กรรมการ  
(ดร. จีรศักดิ์ อารีรัตน์)

  
.....กรรมการ  
(อ. รัตนาธิเบศร์ เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การศึกษาอิทธิพลของกำมะถันที่มีต่อยางอีโบไนต์
โดย	นางสาวชวกร รอดพูล รหัสประจำตัว 47015532 นางสาวปฐมภรณ์ ทรัพย์เจริญ รหัสประจำตัว 47015540
อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาโท	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของกำมะถันที่มีต่อยางอีโบไนต์ (Ebonite) เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปปรับปรุงสมบัติของยางอีโบไนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง

ในการทดลองมีการปรับเปลี่ยนปริมาณกำมะถันตั้งแต่ 20 phr, 27 phr, 33 phr, 40 phr และ 47 phr จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความทนแรงกระแทก (Impact) ความแข็ง (hardness) และความต้านแรงคืบ (Flexural) ผลที่ได้คือ ความแข็งแปรผันตรงกับปริมาณกำมะถัน แต่แปรผกผันกับความต้านแรงกระแทกและความต้านแรงคืบ นอกจากนี้เมื่อนำอีโบไนต์ไปทดลองทำลูกกอล์ฟปรากฏว่า ยางที่มีปริมาณกำมะถันมากกว่า 33 phr จะเกิดฟองอากาศในชั้นยางทำให้ยางไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนยางที่มีปริมาณกำมะถัน 20 phr, 27 phr จะมีสมบัติด้านความแข็ง ความทนแรงกระแทก และความต้านแรงคืบดีกว่ายางที่มีปริมาณกำมะถัน 33 phr ดังนั้น ยางที่มีปริมาณกำมะถัน 33 phr เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาทำลูกกอล์ฟเพราะมีค่าความทนแรงกระแทก ความแข็ง และค่าต้านแรงคืบดีกว่ายางที่มีสูตรกำมะถัน 20 phr, 27 phr ที่เมื่อนำไปทำลูกกอล์ฟยางแล้วไม่เกิดฟองอากาศระหว่างชั้น

**Report Title** Effect of Sulfur on Properties of Ebonite

**By** MissTawakon Rodpro ID.NO. 47015532  
MissPatamaporn Subjaroen ID.NO. 47015540

**Advisor** Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat

**Report for** Bachelor Degree of Chemical Engineering  
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

The aim of this project is to study the effect of sulfur on ebonite rubber. The experimental result was used to improve the property of ebonite rubber in rubber industry.

In this experiment the amount of sulphur in ebonite rubber was fixed at 20 phr, 27 phr, 33 phr, 40 phr and 47 phr. The physical property such as hardness, impact and flexural strength .It were measure the amount of sulphure is proportionate.It was found that the hardness of ebonite rubber increased with the amount of sulphur, While the flexural and impact strength decreased. When the ebonite rubber with sulphur content greater than sulphure was used to make a roller, significant amount of bubble was observed as well as the roller appeared to be in homogeneous. The hardness, impact and flexural strength of the ebonite rubber with sulphur content of 20 phr and 26 phr were less than those obtained from rubber with 33 phr sulphur content has the best properties for making a roller due to higher hardness, impact and flexural strength as better rubber with 20 phr and 26 phr.They was no bubble observed in the rubber.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

รศ.ดร.ไพศาล นาคพัฒนา ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความรู้ความเข้าใจและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตลอดการทำปริญญานิพนธ์

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

บริษัท ไทยยาท จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้งในการบดผสมยางและสารเคมี

คณะผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบุพการี อันเป็นที่รักซึ่งเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในการทำงานศึกษาครั้งนี้

นางสาวชวกร รอดพดู  
นางสาวปฐมภรณ์ ทรัพย์เจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ประวัติความเป็นมา	3
2.2 ลักษณะทั่วไปของชาวฮิโบนต์	3
2.3 สมบัติเด่นของชาวฮิโบนต์	3
2.4 การนำชาวฮิโบนต์ไปประยุกต์ใช้งาน	4
2.5 โครงสร้างของชาวฮิโบนต์	4
2.6 ส่วนผสมของชาวฮิโบนต์	5
2.7 สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกสูตรยาง	5
2.8 รายละเอียดและหน้าที่ของส่วนผสมในชาวฮิโบนต์	6
บทที่ 3 การดำเนินงาน	12
3.1 การบดผสมยาง	12
3.2 การหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง	14
3.3 การแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในชาวฮิโบนต์	16
3.4 การทดสอบสมบัติทางกลของชาววัลคาไนซ์	17
3.5 การขึ้นรูปเป็นลูกกอล์ฟยาง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง	20
4.1 การหาเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูปของยางอีโบนัด	20
4.2 การแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในยางอีโบนัด	23
4.3 สมบัติทางกลของยาง	23
4.4 การขึ้นรูปเป็นลูกกอล์ฟยาง	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	29
ภาคผนวก	30
ภาคผนวก ก โครงสร้างของยางและการเร่งปฏิกิริยา	31
ภาคผนวก ข สูตรที่ใช้ในการผสมยาง (phr)	32
ภาคผนวก ค Standard Test Method for Rubber Properties – Durometer Hardness	33
ภาคผนวก ง Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastic	37
ภาคผนวก จ Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials	49



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สมบัติโดยทั่วไปของยางชนิดต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2	ข้อดีและข้อเสียของกำมะถัน	7
ตารางที่ 3.1	ส่วนผสมในการบดผสมยาง	13
ตารางที่ 4.1	ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	20
ตารางที่ 4.2	ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	21
ตารางที่ 4.3	ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	22
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบความแข็งของยางอีโบนินด์	24
ตารางที่ 4.5	ปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อความทนแรงกระทำของยางอีโบนินด์	25
ตารางที่ 4.6	ปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อการทดสอบความต้านแรงค้ำของยางอีโบนินด์	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของอีโบนด์	4
รูปที่ 3.1	เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง	12
รูปที่ 3.2	เครื่องอัดไฮโดรลิก	14
รูปที่ 3.3	แบบพิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป	14
รูปที่ 3.4	เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Durometer ชนิด Shore D	15
รูปที่ 3.5	การนำแม่พิมพ์มาวางบนเครื่องอัดไฮโดรลิก	15
รูปที่ 3.6	การนำยางเข้าแม่พิมพ์เพื่อทำการอัด	16
รูปที่ 3.7	ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ	17
รูปที่ 3.8	เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก	18
รูปที่ 3.9	เครื่องทดสอบความต้านแรงดัด	19
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางอีโบนด์	21
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางอีโบนด์	22
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางอีโบนด์	23
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางกับปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยาง	24
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยางกับ ค่าความทนแรงกระแทก	25
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยางกับมอดูลัส	26

## ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

มอดูลัส (Modulus)	ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุ
phr (part per hundred resin)	สัดส่วนการผสมของสารประกอบพอลิเมอร์โดยคิดเป็น น้ำหนัก สารเติมแต่งต่อน้ำหนักเรซิน คิดเป็นหน่วยต่อเรซิน 100 หน่วย
Shore D	หน่วยความแข็งของสารประกอบพอลิเมอร์
NR	Natural Rubber
NBR	Acrylonitrile Butadiene Rubber
DPG	Diphenyl Guanidine
MBT	2 - Mercaptobenzthiazole



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการส่งออกยางพาราหรือที่รู้จักกันในชื่อทางการว่า ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่ราคายางของธรรมชาติที่ส่งออกนั้นมีราคาต่ำกว่ายางสังเคราะห์มาก หากสามารถนำยางธรรมชาติมาเพิ่มมูลค่าในการส่งออก โดยทำเป็นยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ และหากสามารถปรับปรุงสมบัติของยางเหล่านั้นให้เป็นที่ต้องการของตลาด ก็จะเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของยางขึ้นและช่วยเศรษฐกิจของประเทศได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ จึงมีความสนใจศึกษาถึงผลกระทบของกำมะถันที่มีต่อยางอิโบนินต์ ประเทศไทยได้มีการผลิตยางอิโบนินต์มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1831 จุดเด่นของยางอิโบนินต์คือเป็นยางที่มีความแข็งสูง และยังมีความแตกต่างไปจากยางสังเคราะห์ชนิดอื่นคือมีการเติมกำมะถันลงไปในส่วนผสมของยางเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงเป็นจุดที่น่าสนใจทำการศึกษาว่า ปริมาณ กำมะถันมีผลกระทบอย่างไรต่อความแข็งของยางอิโบนินต์ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพของยางให้ดีขึ้นต่อไป

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณกำมะถันที่มีต่อยางอิโบนินต์
- 1.2.2. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาพัฒนาความแข็งของยางอิโบนินต์ ให้เพิ่มมากขึ้น

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. ศึกษาผลกระทบของกำมะถันที่มีต่อยางอิโบนินต์
- 1.3.2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปยางวัลคาไนซ์
- 1.3.3. วิเคราะห์สมบัติของยางอิโบนินต์บางประการ ได้แก่ ความแข็ง , ความทนแรงกระแทก และการทดสอบความต้านแรงดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 คั่นควรวารรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับยางอีโบนัด
- 1.4.2 ออกแบบสูตรยางเพื่อใช้ในการศึกษา
- 1.4.3 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง
- 1.4.4 บดผสมยางตามสูตร โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถัน
- 1.4.5 หาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ยาง
- 1.4.6 ขึ้นรูปยางวัลคาไนซ์และเตรียมชิ้นงานทดสอบ
- 1.4.7 ทดสอบสมบัติของยาง
- 1.4.8 สรุปและรายงานผลการทดลอง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับยางอีโบนัด
- 1.5.2 ทราบปริมาณกำมะถันที่เหมาะสมเพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของยางอีโบนัด
- 1.5.3 ได้เรียนรู้การทำงานอย่างมีแบบแผนและรู้จักวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น
- 1.5.4 เรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

อีโบนิตมีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น Hard rubber, Dexonite, Ebonar, Keramot, Onazote, Silvonite, Stability

#### 2.1 ประวัติความเป็นมา [1]

เมื่อปี ค.ศ.1843 Thomas Hancock ได้ไปจดสิทธิบัตรยางอีโบนิตครั้งแรก ซึ่งการทำยางอีโบนิตของเขาทำโดย การนำยางดิบมาจุ่มลงในสารละลายที่มีกำมะถันละลายอยู่อย่างเข้มข้น แต่ต่อมา Nelson Goodyear ได้อ้างว่าเขาเป็นผู้ค้นพบยางอีโบนิตก่อน Thomas Hancock โดยค้นพบตั้งแต่ปีค.ศ.1831

#### 2.2 ลักษณะทั่วไปของยางอีโบนิต

ยางอีโบนิตเป็นยางแข็งสีดำ ได้จากการนำยางที่ไม่อิ่มตัวจำพวก Butadiene Rubber (BR), Styrene-Butadiene Rubber (SBR), Nitrile Butadiene Rubber (NBR), Natural Rubber (NR) หรือยางสังเคราะห์ มาผสมกับกำมะถันในอัตราส่วนที่มากพอ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้กำมะถันมากกว่า 25% ของน้ำหนักยาง จนทำให้ยางที่ได้มีความแข็งและไม่มีความยืดหยุ่นเหมือนยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แบบอื่นๆ แต่เมื่อให้อุณหภูมิของยางสูงกว่า Yield Temperature โดยถ้าเป็นยางอีโบนิตที่ทำจาก Natural Rubber (NR) จะมี Yield Temperature ประมาณ 80°C Styrene-Butadiene Rubber (SBR) จะมี Yield Temperature ประมาณ 90 - 110°C และ Butadiene Rubber (BR) จะมี Yield Temperature ประมาณ 85°C ยางอีโบนิตจะสามารถยืดหยุ่นได้

#### 2.3 สมบัติเด่นของยางอีโบนิต

สมบัติทางกายภาพ ของอีโบนิตเป็นยางที่มีความแข็งสูงมาก ซึ่งแตกต่างจากยางสังเคราะห์ชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด

สมบัติทางเคมีสามารถต้านทานการกัดกร่อนของสารเคมีได้หลายชนิดเช่น แอลกอฮอล์ (Alcohol), กลีเซอริน (Glycerol), อะซิโตน (Acetone), อะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) แต่จะเกิดการบวมพองเมื่อสัมผัสกับสารจำพวก Liquid Organic, สารอะโรมาติกส์ (Aromatic), ฟีนอล (Phenols), คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulphide) แต่การบวมก็เกิดในอัตราส่วนที่น้อยกว่ายางที่มีการวัลคาไนซ์แบบอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

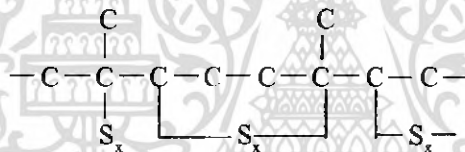
ยางอีโบนต์ยังมีสมบัติเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่ดี เหมาะแก่การนำไปทำอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทตัวต้านทานหรือฉนวนไฟฟ้า

## 2.4 การนำยางอีโบนต์ไปประยุกต์ใช้งาน

จากสมบัติเด่นของยางอีโบนต์ที่ได้กล่าวในข้างต้น จึงได้มีการนำยางอีโบนต์ไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย เช่น ทำฉนวนไฟฟ้า ท่อส่งถ่ายสารเคมี ก่อสร้างใส่แบตเตอรี่ในรถยนต์ ข้อต่อ และอื่นๆ อีกมากมาย

## 2.5 โครงสร้างของยางอีโบนต์ [2]

Midgley Henne and Shepard ได้มีการศึกษาโครงสร้างของยางอีโบนต์โดยได้เสนอโครงสร้างภายในโมเลกุลของอีโบนต์ว่ากำมะถันบางส่วนมีลักษณะการเชื่อมโยงข้ามโมเลกุลระหว่างสายโซ่ไปยังสายโซ่ที่อยู่ข้างเคียง และกำมะถันบางส่วนก็เชื่อมโยงกับอะตอมของคาร์บอน 2 อะตอมในห่วงโซ่เดียวกันทำให้เกิดโครงสร้างเป็นวงแหวนขึ้น โดยกำมะถันติดกับอะตอมของคาร์บอนในลำดับที่ 3 และทำให้เกิดโครงสร้างแบบวงที่เรียกว่า Thiophene ขึ้น กำมะถันจำนวน 80-90% ที่ใส่เข้ามาถูกใช้ในการเชื่อมโยงภายในสายโซ่ ส่วนที่เหลือจะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางอีโบนต์

จากลักษณะโครงสร้างของยางอีโบนต์ที่ได้กล่าวมา จะเห็นได้ว่าความแข็งของยางอีโบนต์ที่แตกต่างกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นมากนั้น เกิดจากการใส่กำมะถันเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากแล้วกำมะถันที่เติมลงไปนี้จะเปรียบเหมือนข้อต่อที่ใช้เชื่อมโยงโมเลกุลของยางทั้งในสายโซ่เดียวกันและระหว่างสายโซ่ หากใส่ปริมาณกำมะถันมากก็เหมือนกับเพิ่มข้อต่อให้มากขึ้น จึงทำให้โมเลกุลของยางมีความหนาแน่นมากขึ้น มีความแข็งมากขึ้น แต่ปริมาณกำมะถันที่ใส่ไปก็มีจุดอ่อนตัวในการผสมเช่นกัน หากปริมาณของกำมะถันที่นำมาผสมมากเกินไปที่จะผสมเป็นเนื้อเดียวกับยางและสารเติมแต่งอื่นๆ ก็จะเกิดกำมะถันอิสระขึ้น หรือหากใส่ปริมาณมากเกินไปก็ถึงแม้จะผสมเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ แต่ก็ส่งผลให้สมบัติอื่นๆ ของยางลดลง เช่น ยางไหม้เกรียม เป็นต้น

## 2.6 ส่วนผสมของยางอีโบนต์ [3]

วัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางในปัจจุบันเป็นผลจากการค้นคว้าของนักอุตสาหกรรมยางจำนวนมากนับแต่มีการค้นพบกรรมวิธีการทำให้ยางสุก (Vulcanization) ในปี ค.ศ. 1839

ปัจจุบันนักอุตสาหกรรมยางมีวัตถุดิบทั้งยางและสารที่จำเป็นต่างๆให้เลือกใช้มากมาย และในการเลือกที่จะใช้ยางและสารต่างๆให้เกิดประโยชน์สูงสุดควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

- ความรู้ความเข้าใจในกระบวนการอุตสาหกรรมที่ดำเนิน
- ความรู้ความเข้าใจในสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบที่จะใช้
- ความรู้ความเข้าใจที่จะใช้วัตถุดิบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ
- ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการทำให้ยางวัลคาไนซ์ เพื่อนำมาพิจารณาใช้ให้ได้ผลอย่างเต็มที่
- ความเข้าใจวิธีการตรวจสอบขั้นตอนการผลิต ตลอดจนวิธีการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้

## 2.7 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกสูตรยาง

การออกแบบสูตรยางแต่ละชนิดนั้น มีหลักเกณฑ์สำคัญที่จะต้องพิจารณาดังนี้

- จะต้องมีการเริ่มต้นกระบวนการที่ถูกต้องแม่นยำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ

- ออกแบบสูตรให้ได้ผลผลิตที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆรวมถึงยางอีโบนต์ พื้นฐานของส่วนผสมของสูตรประกอบด้วยสารต่างๆดังนี้

- ยาง
- สารทำให้ยางวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)
- สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator)
- สารตัวเติม (Filler)
- สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator)
- พลาสติไซเซอร์หรือสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizers)
- สารอื่นๆ



## 2.8 รายละเอียดและหน้าที่ของส่วนผสมในยางอีโบนต์

### 2.8.1 ยาง

ยางมีมากมายหลายชนิด ทั้งยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ การเลือกชนิดของยางหลักเป็นเรื่องสำคัญ เพราะสารเคมีที่ใส่เข้าไปในยางนั้นให้ผลค่อนข้างจำกัด จึงจำเป็นที่ต้องเลือกใช้ยางให้ถูกชนิดก่อนจึงจะสามารถใช้งานได้ ชนิดของยางที่ใช้ทำยางอีโบนต์ โดยทั่วไปมี 4 ชนิดคือ Butadiene Rubber (BR) , Styrene-Butadiene Rubber (SBR) , Nitrile Butadiene Rubber (NBR) , Natural Rubber (NR) ซึ่งอาจใช้ยางเพียงชนิดเดียวหรือนำยางหลายชนิดมาผสมกันก็ได้

การเลือกชนิดของยางที่จะนำไปผลิตยางอีโบนต์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของงานที่นำผลิตภัณฑ์นั้น ไปใช้ เทคนิคสำคัญในการใช้ยาง โดยทั่วไปคือ จะต้องใช้เครื่องมือกลในการบดเพื่อให้โมเลกุลของยางมีขนาดและเพื่อผสมสารเคมีต่างๆลงไปในยาง ซึ่งยางแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 2.1 สมบัติโดยทั่วไปของยางชนิดต่างๆ

ชื่อย่อสากล	ชื่อธรรมดา	ส่วนประกอบทางเคมี	สมบัติทั่วไป
NR	Natural Rubber	Isoprene , Natural	มีสมบัติเด่นทางด้านกายภาพ ซึ่งรวมทั้งด้านความทนทานต่อการสึกหรอ และความทนทานต่อสภาพอุณหภูมิต่ำ แต่ไม่ทนต่อสภาพที่สัมผัสน้ำมันปิโตรเลียม
NBR	Nitrile Buna N Rubber	Nitrile Butadiene	มีความทนทานต่อสภาพที่สัมผัสน้ำมันปิโตรเลียมดีมาก สมบัติทางกายภาพดี และทนต่อพวกสารอโรมาติกได้ปานกลาง
SBR	SBR	Styrene-Butadiene	มีสมบัติทางกายภาพดี ซึ่งรวมทั้งด้านความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่ไม่ทนต่อสภาพที่สัมผัสกับพวกน้ำมันปิโตรเลียม
BR	Butadiene Rubber	Butadiene	มีสมบัติเด่นด้านความทนทานต่อสภาพอุณหภูมิต่ำ และความทนทานต่อการสึกหรอ สมบัติการกระดอนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 สารทำให้ยางสุก (Vulcanizing Agent)

ในปี 1983 Goodyear เป็นคนแรกที่ค้นพบสารชนิดแรกที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ คือ ซัลเฟอร์ สารทำให้ยางวัลคาไนซ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้น ปฏิกริยาที่เกิดเรียกว่า การวัลคาไนซ์หรือการบ่ม (Vulcanization or Cure) ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของยางเปลี่ยนไปดังนี้

- ยางจะเปลี่ยนจากความเป็นอีลาสติก(Elastic) ร่วมกับความเป็นพลาสติก (Plastic) ไปสู่ความเป็นอีลาสติก (Elastic) สูงขึ้น

- เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มมอดุลัส (Modulus) และเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอ
- เปลี่ยนสภาพของยาง จากการละลายได้ในสารละลายเป็นยางที่ไม่ละลายหรือละลายได้

### นอຍถง

สารทำให้ยางวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) แบ่งได้ 3 ชนิด

1. กำมะถัน เป็นสารที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ซึ่งนิยมใช้มากที่สุด นิยมใช้กับยางไม่อิมัตว์
2. สารที่ให้กำมะถัน (Sulfur Donor) เป็นสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ และเมื่อสลายตัวจะให้กำมะถันเช่น TMTD (Tetramethyl Thiuram Disulphide)
3. สารอื่นๆที่ไม่ใช่กำมะถัน เช่น โลหะออกไซด์ จำพวกแมกนีเซียมออกไซด์ ( $MgO_2$ ) ซิงค์ออกไซด์ ( $ZnO_2$ ) หรือสารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide)

ในการศึกษาของฮิวโอบินได้นั้นได้เลือกใช้สารกำมะถัน ปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ของฮิวโอบินต้องใช้ปริมาณที่มากกว่าการวัลคาไนซ์ยางทั่วไป เพื่อให้โมเลกุลของยางมีการเชื่อมโยงมากกว่ายางที่มีการวัลคาไนซ์แบบอ่อน สังเกตได้ว่าของฮิวโอบินจะเป็นยางที่มีความแข็งแรงมากกว่ายางที่มีการวัลคาไนซ์แบบอ่อน

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของกำมะถัน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาค่อนข้างถูก ทำให้ต้นทุนต่ำ	1. มีแนวโน้มทำให้เกิดการแยกตัวมาอยู่ที่ผิวยาง (sulfur blooming)
2. กระจายตัวง่ายในยาง	2. มีการติดสีของซัลเฟอร์
3. ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	3. เมื่อนำยางที่มีส่วนผสมของกำมะถันมาอบ จะมีความต้านทานต่อความร้อนได้ดี
4. มีผลโดยตรงต่อการเร่งปฏิกิริยาให้ยางคงรูป จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดวัลคาไนซ์	4. มีขีดจำกัดในการใช้ คือใช้ได้เฉพาะกับยางไม่อิมัตว์

### 2.8.3 สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator)

ในการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติถ้าใช้วัลคาไนซ์ซึ่งเพียงอย่างเดียวจะเกิดการวัลคาไนซ์ที่ช้ามาก แต่ถ้าใช้สารเร่งปฏิกิริยาจะช่วยลดเวลา โดยจะขึ้นกับปริมาณและชนิดของสารที่ใช้เร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์

- ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็ว
- มีความว่องไวสูงในการเร่งให้เกิดการวัลคาไนซ์ในโมเลกุล
- ละลายในยางได้ดี
- มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต
- เก็บรักษาได้โดยไม่เสื่อม
- ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง
- เข้ากันได้ดีกับสารเคมีที่อยู่ในยาง

หากพิจารณาตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ จะแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

#### 1.กลุ่มกัวนิติน (Guanidine)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ DPG (Diphenyl Guanidine) , DOTG (Di - O - Tolyi Guanidine) และ O - Toly - Biguanide Diguanidine ความเร็วของปฏิกิริยาต่ำ จะมีคุณสมบัติของโมลกุลสูงค่อนข้างตกต่ำ โดยทั่วไป DPG , DOTG จะใช้ร่วมกับกลุ่มไฮโอโซล ทำให้ยางมีความต้านทานแรงดึง โมลกุลและการกระดอนสูงขึ้น

#### 2.กลุ่มอัลดีไฮด์อะมีน (Aldehyde Amine)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ BA (Butyraldehyde Aniline) ต้องใช้สารนี้หลังสุดเพราะทำให้เกิดการจับตัวเร็วหากใช้คู่กับกลุ่มไฮโอโซลและซัลฟีนามิด์ซึ่งจะทำให้โมลกุลสูงมาก และ HMT (Hexamethylene Tetramine) จะทำให้ยางมีโมลกุลต่ำ

#### 3.กลุ่มซัลฟีนามิด์ (Sulphenamide)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ CBS (N-Cyclohexyl-2-Benzthiazyl Sulphenamide) และ TBBS (N-Tert-Butyl-2-Benzthiazyl Sulphenamide) เมื่อซัลฟีนามิด์แตกตัวจะให้ HMT ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ยางที่ได้จะมีโมลกุลสูงมาก มีสมบัติเชิงกลดี ส่วนใหญ่จะใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องรับแรงกระดอนสูงเช่น ยางรถยนต์ ยางในรถยนต์

#### 4. กลุ่มไธโอโซล (Thiazole)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่นิยมมากที่สุด MBT (2 -Mercaptobenzthiazole) , MBTS (2 , 2 Dibenzthiazyl Disulphide) และ ZMBT (Zin-2- Mercaptobenzthiazole) เป็นตัวช่วยให้ยางนิ่มในการผสมยาง ช่วยให้มีการแปรรูปได้ดี มักใส่ลงในยางขณะเริ่มต้นของการบด มักใช้คู่กับ DPG หรือ BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5. กลุ่มไธยูราม (Thiuram)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ TMTM (Tetramethyl Thiuram Monosulphide) , TMT (Tetramethyl Thiuram Disulphide) และ TET (Tetraethyl Tetramethyl Thiuram) จะใช้ร่วมกับพวกไรโอโซลแล้วยังทำหน้าที่เป็น Sulphur Donor ได้ด้วย ทำให้ยางมีโมลกุลสูงขึ้น ด้านทานแรงดึง และด้านทานการสึกหรอมากขึ้น

### 6. กลุ่มไดไธโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamate)

สารที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอมโมเนียมไดไธโอคาร์บาเมต (Ammonium Dithio Carbamate) ซึ่งนิยมใช้วัดคาบในซ้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอาหารได้ โซเดียมไดไธโอคาร์บาเมต (Sodium Dithiocarbamate) สารเร่งพวกนี้ละลายน้ำได้ดีจึงใช้กับยางน้ำ ส่วนสังกะสีไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc Dithiocarbamate) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความโปร่งใส ไม่มีรสและกลิ่น จึงนิยมใช้ทำอุปกรณ์การแพทย์

### 7. กลุ่มแซนเทท (Xanthate)

เป็นสารที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ้เร็วมาก นิยมใช้กับยางน้ำเมื่อเรียงลำดับความสามารถของกลุ่มสารที่เร่งปฏิกิริยาจากช้าไปเร็ว

กลุ่มกำนิติน > กลุ่มอัลคิลไฮดริอะมีน > กลุ่มซัลฟีนามิด > กลุ่มไธยูราม > กลุ่มไดไธโอคาร์บาเมต > กลุ่มแซนเทท

### 2.8.4 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่นๆที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในช่วงเพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพยางให้ดีขึ้น เช่นผงถ่าน จิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนต ไซนาเคลย์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการใส่สารตัวเติม

- เพื่อลดต้นทุนการผลิต
- เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง
- เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
- ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
- เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า
- เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

ในการทำยางอีโอบีในต้นนั้นสารตัวเติมที่ใส่จะเน้นสารที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับยางมากกว่าสารตัวเติมที่เพิ่มคุณสมบัติอื่นๆ โดยสารตัวเติมที่ใช้มี 5 ชนิดด้วยกันคือ

#### 1. ผงถ่าน (Carbon Black)

เป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้มาก ในการเพิ่มสมบัติความแข็งแรงให้กับยาง

## 2. ซิลิกา (Silica)

ซิลิกา (Silica) มีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide,  $\text{SiO}_2$ ) เป็นสารตัวเติมที่ดีที่สุดในบรรดาสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ เพราะเป็นสารตัวเติมที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง

## 3. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate, $\text{CaCO}_3$ )

ลักษณะเป็นผงสีขาว มีขนาดอนุภาคเท่าๆกันประมาณ 1000-10000  $\text{\AA}$  ใช้กับการผลิตของราคาถูก ทำให้ยางแข็งพอควร และการกระดอนค่อนข้างดีเมื่อใช้ในปริมาณมาก แต่ทำให้ยางทนต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดต่ำ

## 4. ไชน่าเคลย์ (China Clay)

เป็นสารตัวเติมพวกไฮเดรทเตดอลูมิเนียมซิลิเกต ที่ได้จากการสะสมตามธรรมชาติ ไม่บริสุทธิ์ มักเจือปนด้วยสารอื่น ซึ่งการเจือปนนี้บางครั้งก็เกิดผลกระทบกับสมบัติอื่นของยาง โดยเฉพาะเมื่อสารที่เจือปนเป็นธาตุทองแดง ธาตุเหล็ก จะไปทำให้ยางเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

## 5. แบเรียมซัลเฟตหรือแบไรท์ (Barium Sulphate or Barytes)

เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมประสิทธิภาพ แต่ช่วยในการลดต้นทุนการผลิต มีลักษณะเป็นผงหยาบ เป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทั้งกรดและด่าง จึงมักใช้เป็นสารตัวเติมในยางที่ใช้สัมผัสกับกรด

### 2.8.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

สารที่ใส่ไปในยาง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น และเพิ่มความสามารถในการใช้งาน เรียกว่า “Plasticizers” ซึ่งพลาสติไซเซอร์จะทำให้ความแข็งของยางลดลง และช่วยให้การแปรรูปของยางง่ายขึ้นโดยพลาสติไซเซอร์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticizers)
2. พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizers)

พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ คือสารที่สามารถละลายในยางได้ จึงทำให้ยางบวม (Swell) ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian Motion) ได้ดียิ่งขึ้น สารประกอบยางจึงไหลได้ดีและมีความหนืดลดลงอย่างมาก ยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็จะมีความแข็งลดลงแต่จะมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไป พลาสติไซเซอร์ชนิดที่ไม่มีขั้วจะทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิในยางที่ไม่มีขั้ว ในทำนองเดียวกัน สารพลาสติไซเซอร์ชนิดมีขั้วเท่านั้นจึงจะทำหน้าที่เป็นสารพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิในยางที่มีขั้วได้ ส่วนสารพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิคือสารที่ไม่สามารถละลายในยางได้ (หรือละลายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น) สารพลาสติไซเซอร์จึงทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างสายโซ่โมเลกุลเพื่อปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูป โดยไม่มีผลกระทบต่อความหนืดของยางมากนัก

### หน้าที่ของพลาสติกไซเซอร์

- เพื่อช่วยในการแปรรูปยาง เนื่องจากการเติมสารตัวเติมต่างๆเข้าไปในยาง จะทำให้ยางแข็งขึ้น สารพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ยางที่วัลคาไนซ์แล้วและยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์อ่อนตัวลง จึงทำให้การแปรรูปง่ายขึ้น
- เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง ยางที่ใส่พลาสติกไซเซอร์จะนุ่มลง การที่ยางนุ่มลงจะทำให้ค่าโมดูลัสของยางลดลง แรงยึดเหนี่ยวของยางสูงขึ้น
- เพื่อลดต้นทุน การใส่สารตัวเติมลงไปปริมาณมากๆ จะทำให้ยางแข็งจนไม่สามารถใส่สารตัวเติมลงไปได้อีก แต่ถ้าเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไป จะช่วยให้เติมสารตัวเติมลงไปได้อีก จึงเป็นการลดต้นทุน
- เพื่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ยางบางชนิดจะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ยางไนไตรล์ และยางคลอโรพรีน หากใส่สารพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ยางมีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำมากขึ้น
- เพื่อลดพลังงานในการแปรรูปยาง การใส่สารพลาสติกไซเซอร์ลงในยาง จะทำให้ยางนิ่มลง พลังงานที่ใช้บดยาง ผสมยาง แปรรูปยาง รวมทั้งอุณหภูมิในการแปรรูปยางจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 การดำเนินงาน

จากที่กล่าวมาในทฤษฎีจะเห็นว่าสารทำให้ยางสุกหรือวัลคาไนซ์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ต้องผสมลงไปในช่วงเพื่อทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันหรือปฏิกิริยาวัลคาไนซ์คือ ระบบการสุกที่ใช้ในการศึกษาคือสุกด้วยกำมะถัน เพราะเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุด มีต้นทุนต่ำ การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้เร็ว และยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็มีสมบัติเชิงกลที่ดี ปริมาณกำมะถันที่จะใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารตัวเร่งปฏิกิริยา รวมถึงสมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่ต้องการ ยกเว้นในกรณีที่ต้องการผลิตยางที่เรียกว่าอีโบนิต์ (Ebonite) ที่จำเป็นต้องใช้กำมะถันในปริมาณที่สูงกว่า 25 phr ดังนั้นในขั้นตอนการดำเนินงานจึงกำหนดปริมาณกำมะถันที่ต้องเติมลงไปปริมาณที่แตกต่างกันไปซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

#### 3.1. การบดผสมยาง

การบดผสมส่วนผสมของยางตามสูตร ด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้งสองลูก เพื่อให้สารแต่ละชนิดกระจายตัวและผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

##### 3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องบดผสมยางแบบลูกกลิ้งสองลูก (Two roll mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง

- เครื่องชั่งน้ำหนัก ที่มีความละเอียด 2 ตำแหน่ง
- ยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR)
- ยางอะคริโลไนไตรล์ บิวตาไดอิน (Acrylonitrile Butadiene Rubber : NBR)
- กำมะถัน (Sulfur)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chaina Clay
- Diphenylguanidine (DPG)
- 2-MercaptoBenzThiazole (MBT)
- น้ำมันสน (Linseed Oil)
- ยางมะตอย (Asphalt)
- ปูนขาว (Limestone)
- เขม่าดำ (Carbon Black)
- แบไรท์ (Barytes)
- ซิลิกา (Silica)

### 3.1.2 ขั้นตอนการบดผสม

- เตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการบดผสมยาง

สารประกอบ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ยางธรรมชาติ	2	2	2	2	2
ยางไนไตรล์	1	1	1	1	1
ยางมะตอย	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
กำมะถัน	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6
โซนนัคลีย์	1	1	1	1	1
ซิลิกา	1	1	1	1	1
แบไรท์	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
เขม่าดำ	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
น้ำมันสน	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
ปูนขาว	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MBT	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
DPG	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

- บดผสมยางด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยบดยางธรรมชาติให้ نرمก่อน เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำยางไนไตรล์ลงไปบดผสม พร้อมทั้งกริดยางที่พันอยู่ที่ลูกกลิ้งลูกหน้า เพื่อกลับยางตลอดเวลา จนกระทั่งยางมีความอ่อนนุ่มและผสมเข้ากันดี

- ใส่อยางมะตอยลงไปเครื่องบดผสม แล้วบดผสมต่อจนเข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- เติมน้ำมันสน ลงไปเพื่อให้ยางนุ่มและยางผสมกับสารตัวเติมได้ง่าย
- เติมน้ำมันแร่ ไชนาเคลย์ เขม่าดำ ปูนขาว และซิลิกาที่ขังไว้แล้วบดผสมจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาในการบดผสมประมาณ 30 นาที
- เติมน้ำมันสนลงในเครื่องบดผสม ขณะผสมควรรีดและกลับยางไปมาเพื่อให้กัมมันต์เข้ากันกับยางอย่างทั่วถึง และใช้เวลาในการผสมกัมมันต์ประมาณ 5 นาที
- ขึ้นสูตรท้ายเติม DPG และ MBT และบดผสมอีกเป็นเวลาประมาณ 3 นาที
- ปรับความหนาของยางด้วยการปรับระยะห่างของลูกกลิ้งประมาณ 4 มิลลิเมตร ระหว่างผสมต้องตัดยางม้วนใส่ลงในเครื่องบดผสม 2 – 3 ครั้ง แล้วรีดออกมาผึ่งให้เย็น

### 3.2. การหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง

การศึกษาหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง

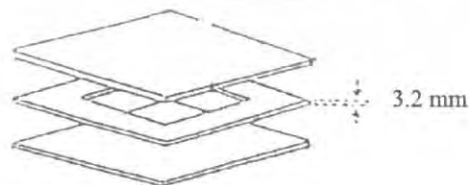
#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- เครื่องอัดยางไฮดรอลิก



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดยางไฮดรอลิก

- แม่พิมพ์โลหะ ขนาด 18.2 x 18.2 เซนติเมตร ช่องว่างภายใน 12.2 x 12.2 เซนติเมตร ความหนาช่องว่าง 3.2 มิลลิเมตร มีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Durometer ชนิด Shore D



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Durometer ชนิด Shore D

### 3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

- วัดขนาดปริมาตรของช่องว่างที่จะใส่ยางของแม่พิมพ์ที่ใช้ คำนวณน้ำหนักของยางที่พอจะทำให้ยางเต็มแม่พิมพ์และเพิ่มอีก 10% - 15% เพื่อให้แน่ใจว่ายางเต็ม
- ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส
- นำแม่พิมพ์มาวางบนแท่นอัดของเครื่องอัดนั้นเพื่อให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิเท่ากับแผ่นอัด



รูปที่ 3.5 การนำแม่พิมพ์มาวางบนเครื่องอัดไฮโดรลิก

- ตั้งความดันไฮโดรลิกให้เหมาะสมกับแม่พิมพ์
- นำแม่พิมพ์ที่ร้อนออกจากเครื่องอัด ทาผิวพิมพ์ด้วยซิลิโคนอิมัลชัน (Silicone Emulsion)
- นำยางที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ แล้วนำเข้าเครื่องอัดตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การนำยางเข้าแม่พิมพ์เพื่อทำการอัด

- อัดยางให้เข้ารูป ในการอัดต้องทำการ Bumping 1-2 ครั้ง เพื่อไล่อากาศที่ค้างในพิมพ์
- ออก
- ทิ้งยางไว้ในแม่พิมพ์ในเครื่องไฮโดรลิคขณะอัดนั้นเป็นเวลา 95% Cure time เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำยางมาวัดค่าความแข็งแบบshore D และบันทึกค่า
- ทำซ้ำอีก 6 ครั้ง โดยใช้เวลาของการอัดยางในแม่พิมพ์ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 นาที
- ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส

### 3.3. การแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในยางอีโบนิต

#### 3.3.1 อุปกรณ์

- เครื่องอัดยางไฮโดรลิค
- ซิลิโคนอิมัลชัน (Silicone Emulsion)
- แม่พิมพ์

#### 3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

- วัดขนาดปริมาตรของช่องว่างของแม่พิมพ์ที่จะใส่ยาง คำนวณน้ำหนักของยางให้พอที่จะทำให้ยางเต็มแม่พิมพ์และเพิ่มอีก 10% - 15% เพื่อให้แน่ใจว่ายางเต็ม
- ตั้งอุณหภูมิแผ่นอัดตามผลการทดลองที่ได้จากการหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง คือ 170 องศาเซลเซียส
- นำยางที่มีส่วนผสมของกำมัน 20phr มาวางบนแม่พิมพ์และนำเข้าเครื่องอัดเป็นเวลา 20 นาที
- นำแม่พิมพ์ที่ร้อนออกจากแท่นอัด
- นำยางออกจากแม่พิมพ์ และวางยางบนพื้นผิวที่เรียบและรอให้เย็นก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปลี่ยนยางจาก 20 phr เป็น 27 phr, 33 phr, 40 phr และ 47 phr และทำการทดลองตามเดิม

### 3.4 การทดสอบสมบัติทางกลของยางวัลคาไนซ์

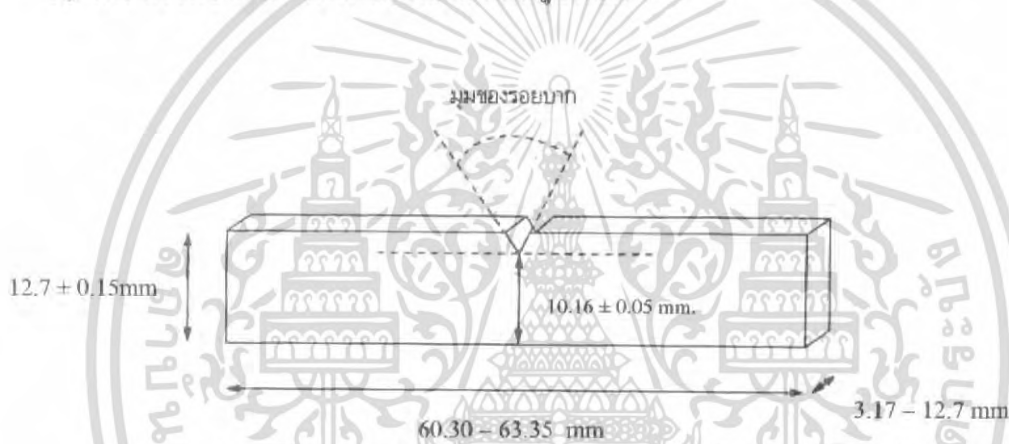
สมบัติทางกลของยางวัลคาไนซ์มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการนำวัสดุไปใช้งาน โดยสมบัติทางกลของยางวัลคาไนซ์ที่พิจารณา ได้แก่ ความแข็ง (Hardnes), ความทนแรงกระแทก (Impact) และความต้านแรงดัด (Flexural)

#### 3.4.1 การทดสอบความแข็งของยาง [ ภาคผนวก ข]

เตรียมชิ้นงานเป็นแผ่น 2 หรือ 3 แผ่น นำไปวัดค่าความแข็งโดยใช้คูโรมิเตอร์แบบ Shore D วัดค่าความแข็งหลายๆจุด ตั้งแต่ 3 จนถึง 5 ค่า บันทึกค่าแล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

#### 3.4.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก [ ภาคผนวก ค]

1.) การเตรียมชิ้นงาน นำแผ่นยางมาตัดตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐานต่างๆจะมีขนาดตามมิติที่แสดงในรูปที่ 3.7 โดยในการทดลองนี้จะยึดมาตรฐาน ASTM เพื่อให้มีความเหมาะสมกับเครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกที่มีอยู่

2.) การกำหนดสภาวะของเครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก

ความจุ 11.0 จูล

รอยบาก V มุม 45°

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 3 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่างส่วนผสม

เมื่อตั้งสภาวะที่ทดสอบเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานใส่เพื่อเครื่องทดสอบ แล้วบันทึกค่า

72198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก

### 3.4.3 การทดสอบความต้านแรงดัด [ ภาคผนวก ง ]

1.) การเตรียมชิ้นงาน นำแผ่นยางมาตัดตามขนาดของ ASTM D790-91 โดยการทดลองนี้ ชิ้นงานมีความหนา 3.2 มิลลิเมตร

2.) การกำหนดสถานะของเครื่องทดสอบแรงดัด

Load Axis 400 นิวตัน

Extension Axis 50 มิลลิเมตร

Extension Limit 50 มิลลิเมตร

Main Speed 1 มิลลิเมตร ต่อ นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 3 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่างสุ่มผสม

เมื่อตั้งสถานะที่ทดสอบเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานใส่เครื่องเพื่อทดสอบ แล้วบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง

### 3.5 การขึ้นรูปเป็นลูกกลิ้งยาง

เพื่อศึกษาว่าสายสูตรใดเหมาะแก่การนำไปทำลูกกลิ้งยางมากที่สุด

#### 3.5.2 อุปกรณ์

- Boiler
- Extruder

#### 3.5.3 วิธีการทดลอง

- นำยางที่ได้อัดเข้าเครื่อง Extruder จนยางที่ออกมามีลักษณะเป็นแผ่นบาง กว้างประมาณ 3 เซนติเมตร หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร
- นำยางมาพันรอบแกนเหล็ก โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งเป็นตัวกำหนดความหนาของยาง
- นำลูกกลิ้งไปอบโดยเครื่องขึ้นรูปแบบไอน้ำ
- นำลูกกลิ้งออกจากเครื่องขึ้นรูปแบบไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อยางอีโบนินด์ โดยในส่วนที่หนึ่งทำการศึกษหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง ส่วนที่สองทำการศึกษาสมบัติทางกลของยาง และส่วนที่สามทำการศึกษาคำนำขงที่ไปทดสอบการขึ้นรูปเป็นลูกกลิ้งยาง สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 4.1 การหาเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ของยางอีโบนินด์

การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมของกาวัลคาไนซ์ยางอีโบนินด์ให้สุกนั้นไม่สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง Cure meter เพราะยางอีโบนินด์เป็นยางที่มีความแข็งสูงอันเนื่องจากมีกำมะถันจำนวนมากเชื่อมโยงภายในสายโซ่เดียวกันและระหว่างสายโซ่ การใช้วิธีการหาค่าเวลาวัลคาไนซ์ของยางโดยใช้เครื่อง Cure meter เป็นการหาของยางที่เป็นแบบทั่วๆไป (Soap Vulcanize)

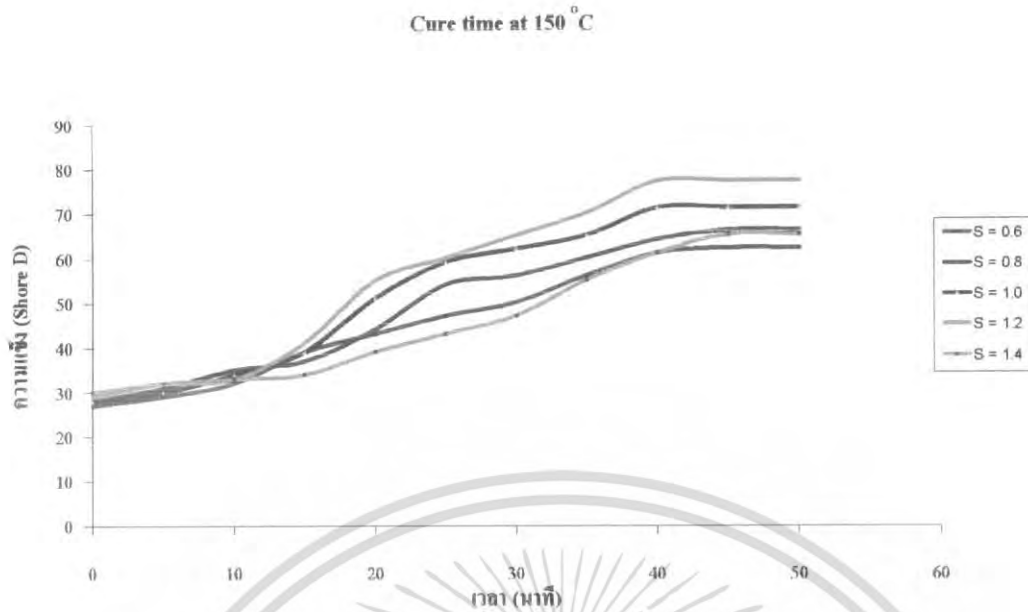
วิธีที่นำมาใช้หาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การวัลคาไนซ์ของยางคือ การนำยางอีโบนินด์ที่อุณหภูมิและช่วงเวลาต่างๆไปวัดค่าความแข็งแบบ Durometer Shore D และนำค่าความแข็งที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้วัลคาไนซ์ยางอีโบนินด์ โดยเลือกอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส, 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณกำมะถัน (phr) / ความแข็ง (Shore D)				
	20	27	33	40	47
0	27	28	28	29	30
5	29	31	30	32	32
10	32	35	34	33	33
15	39	37	39	41	34
20	43	44	51	55	39
25	47	54	59	60	43
30	50	56	62	65	47
35	56	60	65	70	55
40	61	64	71	77	61
45	62	66	71	77	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





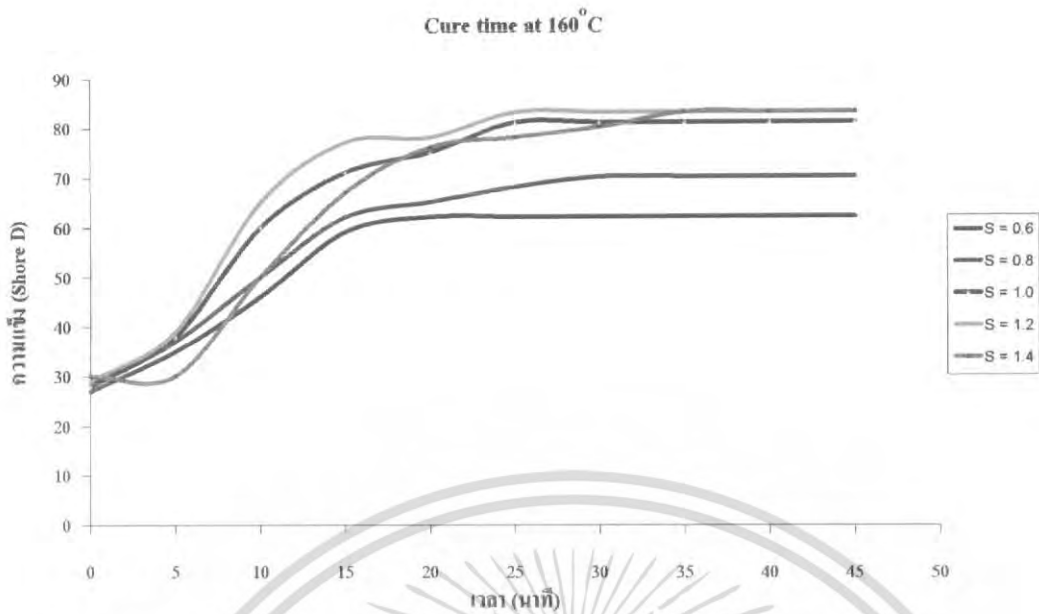
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางอีโบนัด  
จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 150 °C พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที ความแข็งของยาง  
ทั้ง 5 ชนิด คงที่

ตารางที่ 4.2 ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

เวลา (min)	ปริมาณกำมะถัน (phr) / ความแข็ง (Shore D)				
	20	27	33	40	47
0	27	28	28	29	30
5	35	37	38	39	30
10	46	50	60	65	50
15	59	62	71	77	67
20	62	65	75	78	76
25	62	68	81	83	78
30	62	70	81	83	80
35	62	70	81	83	83
40	62	70	81	83	83
45	62	70	81	83	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



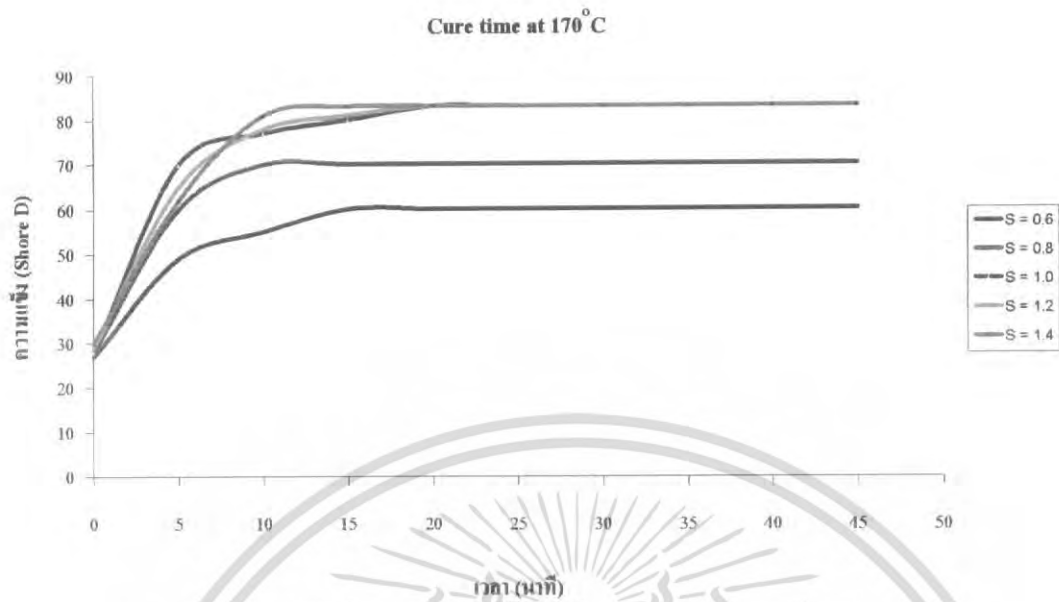


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัดคาโบนซ์ยางอีโบนัด  
จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 160 °C พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 35 นาที ความแข็งของยาง  
ทั้ง 5 ชนิด คงที่

ตารางที่ 4.3 ความแข็งของยางที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณกำมะถัน (phr) / ความแข็ง (Shore D)				
	20	27	33	40	47
0	27	28	28	29	30
5	49	60	70	65	62
10	55	70	77	78	81
15	60	70	80	81	83
20	60	70	83	83	83
25	60	70	83	83	83
30	60	70	83	83	83
35	60	70	83	83	83
40	60	70	83	83	83
45	60	70	83	83	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางอีโบนัด  
จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 170 °C พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความแข็งของยาง  
ทั้ง 5 ชนิด คงที่

#### 4.2 การแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในยางอีโบนัด

- ยางที่มีอัตราส่วนของกำมะถันมากกว่า 33 phr จะมีฟองอากาศบนผิวยางเล็กน้อย
- ยางจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณกำมะถันที่ผสม โดยสังเกตจากยางเมื่อนำออกจากแม่พิมพ์

#### 4.3 สมบัติทางกลของยาง

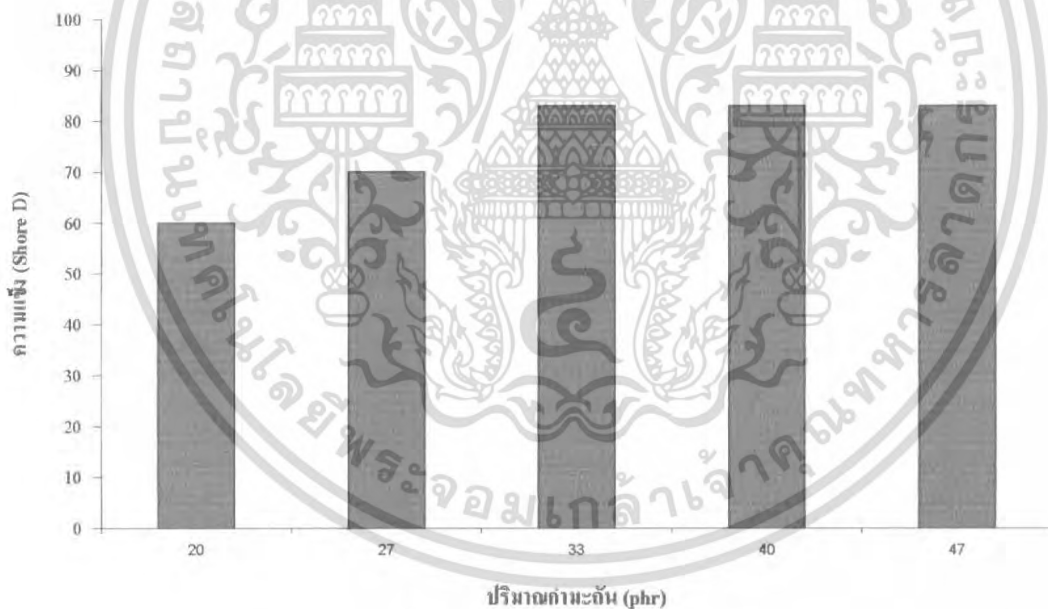
เมื่อศึกษาปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อสมบัติทางกลซึ่งได้แก่ ค่าความแข็งของยาง ค่าความ  
ทนแรงกระแทก และความต้านแรงตัด โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันและให้ส่วนผสมอื่นๆ  
คงที่จะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

### 4.3.1 การทดสอบความแข็งของยาง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็งของยางอีโบนิต์

ปริมาณกำมะถัน (phr) / ความแข็ง (Shore D)					
ครั้งที่	20	27	33	40	47
1	60.0	70.0	83.0	83.0	83.0
2	60.0	70.0	83.0	83.0	83.0
3	59.5	70.0	79.5	80.0	83.0
4	59.5	70.5	81.5	80.0	83.0
5	61.0	70.0	80.0	83.0	81.5
ค่าเฉลี่ย	60.0	70.0	81.4	81.8	82.7

เมื่อนำความแข็งที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบความแข็งกับปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงไปในช่วงจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางกับปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยาง

จากรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในยางอีโบนิต์ จะทำให้ค่าความแข็งของยางมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณกำมะถันเท่ากับ 33 phr และถ้าใส่กำมะถันมากกว่า 33 phr ค่าความแข็งของยางจะคงที่ เนื่องจากกำมะถันที่เติมลงไปนั้นทำให้โมเลกุลของยางมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นน้อยลง และยางมีความแข็งมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การทดสอบความทนแรงกระแทก

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อความทนแรงกระแทกของยางอีโบนต์

ปริมาณกำมะถัน (phr) / ค่าทนแรงกระแทก ( $\text{kJ/m}^2$ )					
ครั้งที่	20	27	33	40	47
1	1.23	1.05	1.15	0.69	0.16
2	1.63	1.45	1.15	0.7	0.65
3	1.83	1.45	1.25	0.97	0.81
ค่าเฉลี่ย	1.56	1.32	1.18	0.79	0.54

เมื่อนำค่าความทนทานต่อแรงกระแทกที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าทนแรงกระแทกกับปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงไปนั้นจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยางกับค่าความทนแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าความทนแรงกระแทกของยางอีโบนต์แปรผกผันกับปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกำมะถันที่เติมลงไปนั้นทำให้โมเลกุลของยางมีความหนาแน่นมากขึ้น ปริมาณของกำมะถันยิ่งเพิ่มขึ้นยางก็เปราะแตกได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 การทดสอบความต้านแรงค้ำ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกำมะถันที่มีผลต่อการทดสอบความต้านแรงค้ำของยางอีโบนต์

ปริมาณกำมะถัน ( phr. )	$F_m$ ( N )	$R_m$ ( N/mm <sup>2</sup> )	มอดูลัส ( N/mm <sup>2</sup> )
20	39.58	0.4978	10.89
27	84.39	1.055	12.04
33	129.8	1.623	46.74
40	112.9	1.411	26.54
47	130.2	1.628	21.25

เมื่อนำค่ามอดูลัสที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสกับปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงไปในช่วงจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกำมะถันที่ผสมลงในยางกับค่ามอดูลัส

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในยางอีโบนต์ จะทำให้ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเมื่อมีปริมาณกำมะถัน 33 phr หลังจากนั้นค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลง

### 4.4 การขึ้นรูปเป็นลูกกลิ้งยาง

เมื่อนำยางไปทำลูกกลิ้งยางแล้วผลปรากฏว่า ยางที่มีส่วนผสมของกำมะถันปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัม เกิดเป็นฟองอากาศระหว่างชั้นในขณะที่ทำการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การทดลองเพื่อศึกษาหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของยาง

- ในการหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้ยางอีโบนัดวัลคาไนซ์นั้นผลปรากฏว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จาก 150 องศาเซลเซียส เป็น 160 องศาเซลเซียสและ 170 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาที่ความแข็งของยางคงที่จะเร็วขึ้น เพราะยิ่งอุณหภูมิสูงก็จะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของกำมะถันภายในโมเลกุล แต่มีข้อจำกัดคือ เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้ยางวัลคาไนซ์จะทำให้เกิดกำมะถันแยกชั้นมาอยู่ที่ผิวยาง (Blooming) และทำให้ยางสูญเสียคุณสมบัติหรือไหม้ได้

- จากกราฟที่ 4.1 ถึงกราฟที่ 4.3 จะเห็นว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของการวัลคาไนซ์ยางความแข็งของยางจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมาถึงช่วงเวลาที่ความแข็งของยางมีค่าสูงสุดและคงที่อยู่ออย่างนั้น ทั้งนี้เพราะกำมะถันที่ผสมอยู่ในยางเมื่อโดนความร้อนจากการวัลคาไนซ์ก็เป็นการเพิ่มพลังงานทำให้เกิดการสร้างพันธะเชื่อมโยงภายในสายโซ่เดียวกันและระหว่างสายโซ่ จึงทำให้ยางมีความแข็งขึ้น จนกำมะถันไม่สามารถที่จะเชื่อมโยงพันธะได้อีก เนื่องจากกำมะถันที่ผสมอยู่เกิดการเชื่อมโยงหมดทุกโมเลกุลแล้ว หรือถึงจุดอิ่มตัว จึงทำให้ยางมีความแข็งคงที่

- เมื่อเปรียบเทียบกราฟ 4.1 ถึงกราฟที่ 4.4 เห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ยางจะวัลคาไนซ์ได้เร็วที่สุดและมีค่าความแข็งดีกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ โดยเวลาที่ยางวัลคาไนซ์ประมาณ 20 นาที

- เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการวัลคาไนซ์ยางที่สภาวะอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ฉะนั้นต้องวัลคาไนซ์ยางอีโบนัดก่อนนำไปทดสอบและใช้สภาวะนี้ในการอบยางตลอดการทดลอง

##### 5.1.2 การแปรเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในยางอีโบนัด

- ยางที่มีอัตราส่วนของกำมะถันมากกว่า 33 phr จะมีฟองอากาศบนผิวยางบ้างเล็กน้อยเกิดจากกำมะถันบางส่วนที่ไม่ได้ทำการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลมาทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

- ยางจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณกำมะถันที่ผสม เพราะปริมาณกำมะถันที่มากขึ้นเป็นการเพิ่มการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลให้มากขึ้นด้วย ซึ่งความแข็งที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้ด้วยตาเปล่าเมื่อนำยางออกจากแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 5.1.3 การทดสอบสมบัติของยาง

- การทดสอบความแข็งของยาง จากกราฟที่ 4.4 พบว่าเมื่อกำมะถันมีปริมาณเท่ากับ 33 phr , 40 phr และ 47 phr ความแข็งของยางจะคงที่ ซึ่งเกิดจากกำมะถันที่ผสมลงไปเกิดการเชื่อม โยงโมเลกุลจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อใส่กำมะถันเข้าไปอีกก็ไม่สามารถช่วยให้ความแข็งของยางมีค่าเพิ่มขึ้นได้ และเมื่อปริมาณกำมะถันเท่ากับ 20 phr และ 27 phr ความแข็งของยางก็แปรผันตรงกับปริมาณกำมะถัน

- การทดสอบความทนแรงกระแทก จะพบว่าถ้าปริมาณกำมะถันที่ใส่มีปริมาณมากก็จะทำให้ยางมีลักษณะเปราะจึงทำให้ความทนแรงกระแทกมีค่าน้อยลงตามไปด้วย แต่ถ้าใส่ในปริมาณน้อยก็ทำให้ยางมีลักษณะเหนียวขึ้นแล้วทำให้ได้ค่าความทนแรงกระแทกมากขึ้น

- การทดสอบความต้านแรงดัด พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นด้วย และถ้าใส่ปริมาณกำมะถันมากกว่า 33 phr จะทำให้ค่ามอดูลัสลดลง ทั้งนี้ค่ามอดูลัสไม่ได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของยางแต่จะบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางเมื่อมีแรงมากระทำ

### 5.1.4 การนำยางไปทดสอบการขึ้นรูปเป็นลูกกอล์ฟยาง

- เมื่อนำยางไปทำลูกกอล์ฟยาง โดยยางที่มีส่วนผสมของกำมะถันปริมาณมากกว่า 33 phr เมื่อผ่านการขึ้นรูปแบบใช้ไอน้ำแล้วปรากฏว่า ชั้นของเนื้อยางที่พันทับกันนั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เกิดเป็นฟองอากาศระหว่างชั้นในขณะที่ทำกรอบ

- ยางที่ผสมกำมะถันปริมาณกำมะถัน 33 phr มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาทำลูกกอล์ฟยาง เพราะไม่เกิดฟองอากาศระหว่างชั้นเมื่อทำกรอบ ผิวลูกกอล์ฟจึงเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ ค่าการทนแรงกระแทก แรงกดอัด และความแข็งคิดว่ายางที่มีส่วนผสมของกำมะถันปริมาณ 20 phr และ 27 phr

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทำให้เห็นถึงข้อบกพร่อง ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับการสุกตัวของยางเพื่อหาเวลาสุกตัวของยางที่แน่นอนและทำให้ประหยัดเวลาในการทำกรอบ
2. ควรทำการบดผสมยางและส่วนผสมอื่นๆ โดยใช้เครื่องมือที่เป็นระบบปิดเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของส่วนผสมซึ่งทำให้ไม่ได้สัดส่วนที่แน่นอน
3. จำนวนชิ้นงานที่ขึ้นรูปควรมากกว่าจำนวนชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ เพื่อป้องกันความผิดพลาดและสามารถเลือกชิ้นงานที่ดีที่สุดเพื่อทดสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1.] W. J. Roff, J.R.Scott . “ Fibres , Films , Plastic and Rubbers A Handbook of Common Polymer ” , First published and butterworth &Co ( Publishers ) Ltd. , 1971
- [2.] C.M.Blow .Bsc , PHD , FRIC , FIRI. “Rubber Technology and Manufacture.” , Butter Worth London.
- [3.] พรพรรณ นิธิอุทัย . “ สารเคมีสำหรับยาง ” . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีคคานี.2528
- [4.] บุญธรรม นิธิอุทัย . “ ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และคุณสมบัติ ” . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีคคานี . 2530
- [5.] พรพรรณ นิธิอุทัย . “ เทคนิคการออกสูตรยาง ” . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีคคานี.2540
- [6.] พงษ์ธร แซ่อูย . “ ยาง ชนิด สมบัติและการใช้งาน ” . ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ . กรุงเทพมหานคร.2547
- [7.] W. J.S Naunton , “ The applied science of rubber ” , First published , Edward Arnold LTD , 1961
- [8.] Coin W Evans , “ Developments in rubber composites ” , Applied Science publishers LTD , 1980
- [9.] G , Alliger and I.J. , Sjothun , “ Principles and practice of Vulcanization of commercial.” , Reinhold Publishing corporation , 1984
- [10.] C.M.Blow . “Rubber Technology and Manufacture” . Second Edition , Butterworth Scientific , 1982
- [11.] Kailash Chand Dhingra and Suresh Chard Gupta , “ Rubber and modern rubber good industries.” , Small Industry research Institute , 1975
- [12.] J. A. Brydson , “ Rubber Chemitry. ” , Applied Science Publishers Ltd.
- [13.] G.S. Whitby , C.C.Davic , R.F. Dunbrock , “ Sythetic rubber.” , John Wiley&Sons , 1954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

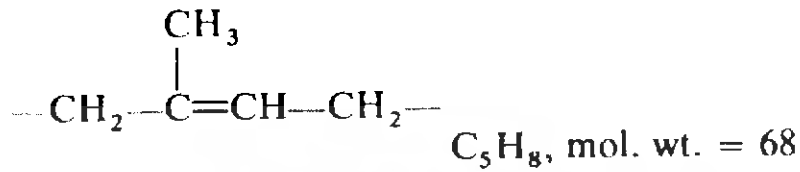




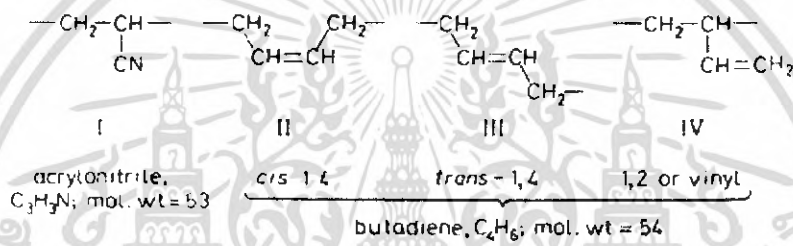
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โครงสร้างของยาง

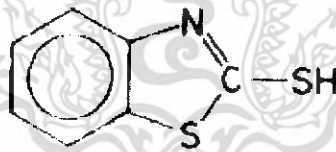


รูปที่ ก.1 โครงสร้างของ Isoprene Rubber

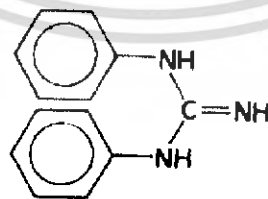


รูปที่ ก.2 โครงสร้างของ Nitrile Rubber

โครงสร้างของสารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator)



รูปที่ ก.3 โครงสร้างของ Mercaptobenzothiazole (MBT)



รูปที่ ก.4 โครงสร้างของ Diphenyl Guanidine (DPG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สูตรที่ใช้ในการผสมยาง (phr)

สารประกอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
Natural Rubber : NR	67	67	67	67	67
Acrylonitrile butadiene : NBR	33	33	33	33	33
Sulphure	20	27	33	40	47
Chaina Clay	33	33	33	33	33
Diphenyl guanidine : DPG	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
2 – Mercaptobenzthiazole : MBT	1	1	1	1	1
Linseed oil	2	2	2	2	2
Asphalte	17	17	17	17	17
Limestone	3	3	3	3	3
Carbon black	13	13	13	13	13
Barytes	20	20	20	20	20
Silica	33	33	33	33	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Designation: D 2240 - 91

## Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 2240; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This test method describes seven types of durometers A, B, C, D, DO, O and OO, and the procedure for determining indentation hardness of substances classified as rubber, cellular materials, elastomeric materials, thermoplastic elastomers and some hard plastics.

1.2 This test method is not applicable to the testing of fabrics.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing<sup>2</sup>

D 785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials<sup>2</sup>

D 1349 Practice for Rubber—Standard Temperatures For Testing<sup>3</sup>

D 4483 Practice for Determining Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Industries<sup>4</sup>

### 3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both.

NOTE 1—Durometers with maximum reading pointers used to determine initial hardness values may yield lower hardness when the maximum pointer is used.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is based on the penetration of a specific type of indenter when forced into the material under specified conditions. The indentation hardness is inversely related to the penetration and is dependent on the elastic modulus and viscoelastic behavior of the material. The shape

of the indenter and the applied force influence the results obtained so there may be no simple relationship between the results obtained with one type of durometer and those obtained with another type of durometer or other instruments for measuring hardness. This test method is an empirical test intended primarily for control purposes. No simple relationship is known to exist between indentation hardness determined by this test method and any fundamental property of the material tested. For specification purposes it is recommended that Test Method D 785 be used for hard material.

NOTE 2—Durometer scale comparison chart only. This is not and cannot be used as a conversion reference.

Type A	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type B	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type D	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type DO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type O	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type OO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

### 5. Apparatus

5.1 Hardness measuring apparatus or durometer consisting of the following components:

5.1.1 *Presser Foot*, with a hole having a diameter as specified in Fig. 1(a), 1(b), or 1(c) with its center 6 mm (0.25 in.) from any edge of the foot.

5.1.2 *Indenter*, formed from hardened steel rod and shaped in accordance with Fig. 1(a), 1(b), or 1(c) with full extension adjustable between 2.46 to 2.54 mm (0.97 to 0.100 in.).

5.1.3 *Indenter Extension Indicating Device* (analog or electronic), having a scale reading from 0 to 100 with equal divisions throughout the range. The scale reading is an inverse function of the indenter extension. The device shall have a pointer that moves on the scale at a rate of one hardness point for each 0.025 mm (0.001 in.) of indenter movement.

NOTE 3—Type A Shore Durometers serial numbers 1 through 16 300 and 16 351 through 16 900 and Type A-2 Shore Durometers numbers 1 through 8077 do not meet the requirement of 2.46 to 2.54 mm (0.097 to 0.100 in.) extension of the indenter at zero reading. These durometers will give readings which are low by amounts ranging from 3 units at 30 hardness to 1 unit at 90 hardness.

5.1.4 *Timing Device* (optional), capable of being set to a desired elapsed time, signalling the operator or holding the hardness reading when the desired elapsed time has been reached. The timer should be automatically activated when the presser foot is in firm contact with the specimen being tested.

5.1.5 *Calibrated Spring*, for applying force to the indenter in accordance with Fig. 1.

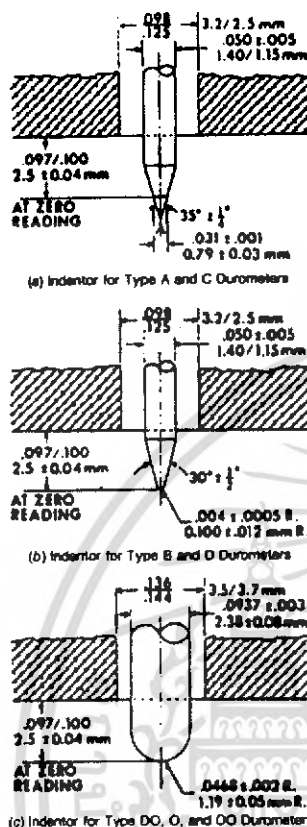
<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Tests. Current edition approved May 15, 1991. Published February 1992. Originally published as D 2240 - 64 T. Last previous edition D 2240 - 86.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.02.

## D 2240



NOTE—Spring Force Combinations:

$$\text{Force, } N = 0.550 + 0.075 H_1$$

where  $H_1$  = hardness reading on Type A, B and O durometers

$$\text{Force, } N = 0.4445 H_2$$

where  $H_2$  = hardness reading on Type C, O and DO durometers

$$\text{Force, } N = 0.203 + 0.00908 H_{\infty}$$

where  $H_{\infty}$  = hardness reading on Type OO durometers

FIG. 1 Durometer, Indenter and Spring Force Combinations

## 6. Test Specimen

6.1 The test specimen shall be at least 6 mm (0.25 in.) in thickness unless it is known that results equivalent to the 6 mm values are obtained with a thinner specimen (see Note 4). A specimen may be composed of plied pieces to obtain the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens because the surface faces between plies may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen shall be sufficient to permit measurements at least 12 mm (0.5 in.) from any edge unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at lesser distance from an edge. The surfaces of the specimen shall be flat and parallel over a sufficient area to permit the presser foot to contact the specimen over an area having a radius of

at least 6 mm (0.25 in.) from the indenter point. A suitable hardness determination cannot be made on a rounded, uneven, or rough surface.

NOTE 4—The minimum requirement for the thickness of the specimen is dependent on the extent of penetration of the indenter into the specimen; that is, thinner specimens may be used for materials having hardness values at the upper end of the scale. The minimum distance from the edge at which measurements may be made likewise decrease as the hardness increases. For materials having hardness values above 91 Type D durometer, the thickness of the specimen should be at least 1 mm (0.12 in.) and measurements should not be made closer than 6 mm (0.25 in.) to any edge.

## 7. Calibration

7.1 The durometer spring shall be calibrated by supporting the durometer in a vertical position and applying a measurable force to the indenter tip (see Fig. 2). The device used to apply the force may be a dead weight or electronic load cell device capable of measuring applied force at 50% of the calibration tolerance. Care should be taken to ensure that the force is applied vertically to the indenter tip, as side loads will cause errors in calibration. Spring calibration shall be verified on all durometer at scale readings of 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90. The measured force ( $9.8 \times$  mass in kilograms) shall be equivalent to the force calculated by the equation in Fig. 1. The measured force for Type A, B and O durometers shall be within  $\pm 0.08$  N. For Type C, D and DO durometers it shall be within  $\pm 0.44$  N, and for Type OO durometers it shall be within  $\pm 0.025$  N.

NOTE 5—Instruments specifically designed for the calibration of durometers may be used.<sup>3</sup>

7.2 Indenter extension and shape must be in accordance with 5.1.2. With the durometer placed firmly on a flat surface the indicator should read a number equal to the indenter extension measured in inches  $\times 1000$ , within  $\pm 0.5$  durometer points.

NOTE 6—When performing the procedure in 7.2 on Type B and D durometers care should be used not to damage the indenter tip.

7.3 Test blocks (rubber or spring type) provided for checking durometer operation are not to be relied upon as calibration standards. The calibration procedures outlined in 7.1 and 7.2 are the only valid calibration methods.

## 8. Conditioning

8.1 Tests shall be made at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ). For materials whose hardness depends on relative humidity, the specimen shall be conditioned in accordance with Procedure A of Practice D 618 and tested under the same conditions.

NOTE 7—No conclusive evaluation has been made on durometers at temperatures other than  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ). Conditioning at temperatures other than the above may show changes in calibration. Durometer use at temperatures other than the above should be decided locally (see Practice D 1349).

## 9. Procedure

9.1 Place the specimen on a hard, horizontal surface.

<sup>3</sup> Zwick and Co., Control Equipment 7501 with serial numbers higher than WA 20301 or the Shore Durometricator, available from Shore Instrument Manufacturing Co., 80 Commercial St., Freeport, NY 11520, have been found satisfactory for this purpose.

## D 2240

Hold the durometer in a vertical position with the point of the indenter at least 12 mm (0.5 in.) from any edge of the specimen, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance. Apply the presser foot to the specimen as rapidly as possible, without shock, keeping the foot parallel to the surface of the specimen. Apply just sufficient pressure to obtain firm contact between presser foot and specimen.

**NOTE 8**—Better repeatability may be obtained by using a mass centered on the axis of the indenter. Recommended masses are 1 kg for Type A, B and O durometers, 5 kg for Type C, D and DO durometers, and 400 g for Type OO durometers. Durometer stands using the masses above as a constant load and a controlled descent speed, without shock, produce maximum repeatability.

9.2 For any material covered in 1.1, after the presser foot is in firm contact with the specimen, the scale reading is to be taken within 1 s or after any period of time agreed upon between supplier and user unless the durometer has a maximum indicator, in which case the maximum reading is taken. The hardness reading may progressively decrease with time delay.

9.3 Make five measurements of hardness at different positions on the specimen at least 6 mm (0.25 in.) apart and determine the arithmetic mean.

**NOTE 9**—The type of durometer should be selected with the knowledge that readings below 10 or above 90 are not considered reliable by the manufacturer. It is suggested that readings in these ranges not be recorded.

## 10. Report

10.1 Report the following information:

- 10.1.1 Hardness value obtained,
- 10.1.2 Complete identification of the material tested,
- 10.1.3 Vulcanization date,
- 10.1.4 Description of specimen, including thickness and number of pieces plied, if less than 6 mm (0.25 in.),
- 10.1.5 Temperature of test if other than 23°C,
- 10.1.6 Relative humidity when hardness of material is dependent on humidity,
- 10.1.7 Type and serial number of durometer,
- 10.1.8 Indentation hardness time interval at which reading was taken, and
- 10.1.9 Date of test.

**NOTE 10**—Readings may be reported in the form: A/45/15 where A is the type of durometer, 45 the reading, and 15 the time in seconds that the pressure foot is in firm contact with the specimen. Similarly, D/60/1 indicates a reading of 60 on the Type D durometer obtained either within 1 s or from a maximum indicator.

## 11. Precision and Bias<sup>6</sup>

11.1 These precision and bias statements have been prepared in accordance with Practice D 4483. Refer to this practice for terminology and other testing and statistical concepts.

11.2 The Type 1 precision for both Type A and D methods was determined from an interlaboratory program with three materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate

TABLE 1 Type 1 Precision—Type A Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr <sup>A</sup>	r <sup>B</sup>	(r) <sup>C</sup>	SR <sup>D</sup>	R <sup>E</sup>	(R) <sup>F</sup>
1	51.4	0.646	1.83	3.56	11.56	4.41	8.59
2	85.3	0.878	2.48	3.81	22.14	6.06	8.27
3	68.0	0.433	1.23	1.80	22.28	6.45	8.49
Pooled	61.6	0.677	1.82	3.11	22.02	5.72	8.28

<sup>A</sup> Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

<sup>B</sup> r = repeatability = 2.83 × Sr, measurement units.

<sup>C</sup> (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

<sup>D</sup> SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

<sup>E</sup> R = reproducibility = 2.83 × SR, measurement units.

<sup>F</sup> (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

TABLE 2 Type 1 Precision—Type D Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr <sup>A</sup>	r <sup>B</sup>	(r) <sup>C</sup>	SR <sup>D</sup>	R <sup>E</sup>	(R) <sup>F</sup>
1	42.6	0.316	0.894	2.10	2.82	7.98	18.7
2	54.5	0.781	2.24	4.11	3.54	10.0	18.4
3	82.3	1.01	2.66	3.47	3.54	10.0	12.2
Pooled	58.8	0.782	2.16	3.61	3.32	9.40	15.7

<sup>A</sup> Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

<sup>B</sup> r = repeatability = 2.83 × Sr, measurement units.

<sup>C</sup> (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

<sup>D</sup> SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

<sup>E</sup> R = reproducibility = 2.83 × SR, measurement units.

<sup>F</sup> (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

days in each laboratory for both A and D testing programs. All materials were supplied from a single source.

11.3 A test result for hardness (both A and D) was the median of five individual hardness readings on each day in each laboratory.

11.4 Table 1 shows the precision results for Type A method. Table 2 gives the precision results for Type D method.

11.5 The precision results in this precision and bias section give an estimate of the precision of this test method with the materials (rubbers) used in the particular interlaboratory program as described above. The precision parameters should not be used for acceptance or rejection testing, or both, of any group of materials without documentation that they are applicable to those particular materials and the specific testing protocols that include this test method.

11.6 **Precision**—The precision of this test method may be expressed in the format of the following statements which use as appropriate value *r*, *R*, (*r*) or (*R*), that is, that value to be used in decisions about test results (obtained with the test method). The appropriate value is that value of *r* or *R* associated with a mean level in Tables 1 and 2 closest to the mean level under consideration (at any given time, for any given material) in routine testing operations.

11.6.1 **Repeatability**—The repeatability, *r*, of this test method has been established as the appropriate value tabulated in Tables 1 and 2. Two single test results, obtained under normal test method procedures, that differ by more than this tabulated *r* (for any given level) must be considered as derived from different or nonidentical sample populations.

11.6.2 **Reproducibility**—The reproducibility, *R*, of this test method has been established as the appropriate value tabulated in Tables 1 and 2. Two single test results obtained

<sup>6</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D11-1029.

## D 2240

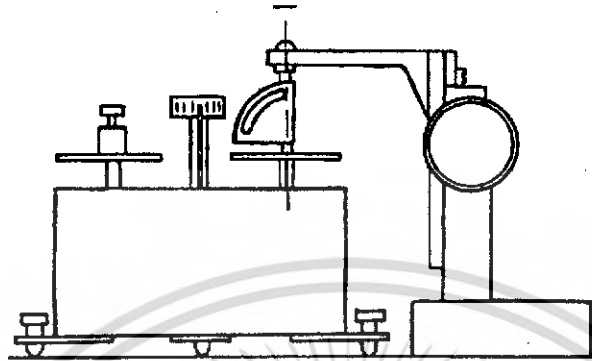


FIG. 2 Apparatus for Calibration of Durometer Spring

in two different laboratories, under normal test method procedures, that differ by more than the tabulated  $R$  (for any given level) must be considered to have come from different or nonidentical sample populations.

11.6.3 Repeatability and reproducibility expressed as a percentage of the mean level, ( $r$ ) and ( $R$ ), have equivalent application statements as above for  $r$  and  $R$ . For the ( $r$ ) and ( $R$ ) statements, the difference in the two single test results is

expressed as a percentage of the arithmetic mean of the two test results.

11.7 *Bias*—In test method terminology, bias is the difference between an average test value and the reference (or true) test property value. Reference values do not exist for this test method since the value (of the test property) is exclusively defined by this test method. Bias, therefore, cannot be determined.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1018 Race St., Philadelphia, PA 19103.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Designation: D 256 - 97

An American National Standard

## Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 256; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the resistance of plastics to "standardized" (see Note 1) pendulum-type hammers, mounted in "standardized" machines, in breaking standard specimens with one pendulum swing. The standard tests for these test methods require specimens made with a milled notch (see Note 2). In Test Methods A, C, and D, the notch produces a stress concentration that increases the probability of a brittle, rather than a ductile, fracture. In Test Method E, the impact resistance is obtained breakage by flexural shock as indicated by the energy extracted from by reversing the notched specimen 180° in the clamping vise. The results of all test methods are reported in terms of energy absorbed per unit of specimen width or per unit of cross-sectional area under the notch. (See Note 3.)

NOTE 1—The machines with their pendulum-type hammers have been "standardized" in that they must comply with certain requirements, including a fixed height of hammer fall that results in a substantially fixed velocity of the hammer at the moment of impact. However, hammers of different initial energies (produced by varying their effective weights) are recommended for use with specimens of different impact resistance. Moreover, manufacturers of the equipment are permitted to use different lengths and constructions of pendulums with possible differences in pendulum rigidities resulting. (See Section 5.) Be aware that other differences in machine design may exist. The specimens are "standardized" in that they are required to have one fixed length, one fixed depth, and one particular design of milled notch. The width of the specimens is permitted to vary between limits.

NOTE 2—The notch in the Izod specimen serves to concentrate the stress, minimize plastic deformation, and direct the fracture to the part of the specimen behind the notch. Scatter in energy-to-break is thus reduced. However, because of differences in the elastic and viscoelastic properties of plastics, response to a given notch varies among materials. A measure of a plastic's "notch sensitivity" may be obtained with Test Method D by comparing the energies to break specimens having different radii at the base of the notch.

NOTE 3—Caution must be exercised in interpreting the results of these standard test methods. The following testing parameters may affect test results significantly:

Method of fabrication, including but not limited to processing technology, molding conditions, mold design, and thermal treatments.

Method of notching.  
Speed of notching tool.  
Design of notching apparatus.  
Quality of the notch.  
Time between notching and test.  
Test specimen thickness.

Test specimen width under notch, and  
Environmental conditioning.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

NOTE 4—These test methods resemble ISO 180:1993 in regard to title only. The contents are significantly different.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 3641 Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastics Molding Extrusion Materials<sup>3</sup>
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials<sup>3</sup>
- D 4066 Specification for Nylon Injection and Extrusion Materials<sup>3</sup>
- D 4812 Test Methods for Unnotched Cantilever Beam Impact Strength of Plastics<sup>4</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods<sup>5</sup>

#### 2.2 ISO Standard:

- ISO 180:1993 Plastics—Determination of Izod Impact Strength of Rigid Materials<sup>6</sup>

### 3. Terminology

3.1 **Definitions**—For definitions related to plastics see Terminology D 883.

#### 3.2 Descriptions of Terms Specific to This Standard:

- 3.2.1 **cantilever**—a projecting beam clamped at only one end.
- 3.2.2 **notch sensitivity**—a measure of the variation of impact energy as a function of notch radius.

<sup>1</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>5</sup> Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved April 10, 1997. Published May 1998. Originally published as D 256 - 26.1. Last previous edition D 256 - 93a.



## D 256

## 4. Types of Tests

4.1 Four similar methods are presented in these test methods (See Note 5.) All test methods use the same testing machine and specimen dimensions. There is no known means for correlating the results from the different test methods.

NOTE 5—Test Method B for Charpy has been removed and is being revised under a new standard.

4.1.1 In Test Method A, the specimen is held as a vertical cantilever beam and is broken by a single swing of the pendulum. The line of initial contact is at a fixed distance from the specimen clamp and from the centerline of the notch and on the same face as the notch.

4.1.2 Test Method C is similar to Test Method A, except for the addition of a procedure for determining the energy expended in tossing a portion of the specimen. The value reported is called the "estimated net Izod impact resistance." Test Method C is preferred over Test Method A for materials that have an Izod impact resistance of less than 27 J/m (0.5 ft-lbf/in.) under notch. (See Appendix X5 for optional units.) The differences between Test Methods A and C become unimportant for materials that have an Izod impact resistance higher than this value.

4.1.3 Test Method D provides a measure of the notch sensitivity of a material. The stress-concentration at the notch increases with decreasing notch radius.

4.1.3.1 For a given system, greater stress concentration results in higher localized rates-of-strain. Since the effect of strain-rate on energy-to-break varies among materials, a measure of this effect may be obtained by testing specimens with different notch radii. In the Izod-type test it has been demonstrated that the function, energy-to-break versus notch radius, is reasonably linear from a radius of 0.03 to 2.5 mm (0.001 to 0.100 in.), provided that all specimens have the same type of break. (See 5.8 and 22.1.)

4.1.3.2 For the purpose of this test, the slope,  $b$  (see 22.1), of the line between radii of 0.25 and 1.0 mm (0.010 and 0.040 in.) is used, unless tests with the 1.0-mm radius give "non-break" results. In that case, 0.25 and 0.50-mm (0.010 and 0.020-in.) radii may be used. The effect of notch radius on the impact energy to break a specimen under the conditions of this test is measured by the value  $b$ . Materials with low values of  $b$ , whether high or low energy-to-break with the standard notch, are relatively insensitive to differences in notch radius, while the energy-to-break materials with high values of  $b$  is highly dependent on notch radius. The parameter  $b$  cannot be used in design calculations but may serve as a guide to the designer and in selection of materials.

4.4 Test Method E is similar to Test Method A, except that the specimen is reversed in the vise of the machine 180° to the usual striking position, such that the striker of the apparatus impacts the specimen on the face opposite the notch. (See Fig. 1.) Test Method E is used to give an indication of the unnotched impact resistance of plastics; however, results obtained by the reversed notch method may not always agree with those obtained on a completely

<sup>7</sup> Supporting data giving results of the interlaboratory tests are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1021.

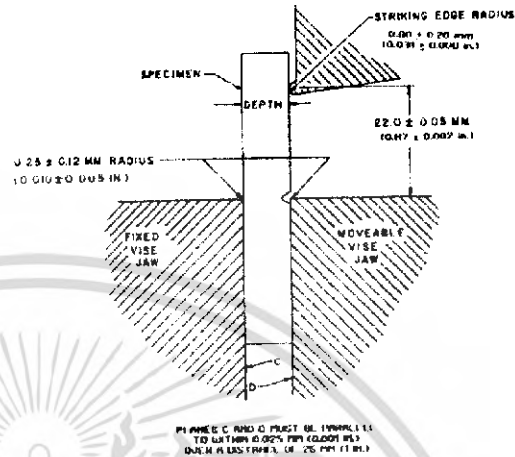


FIG. 1A Relationship of Vise, Specimen, and Striking Edge to Each Other for Izod Test Methods A and C

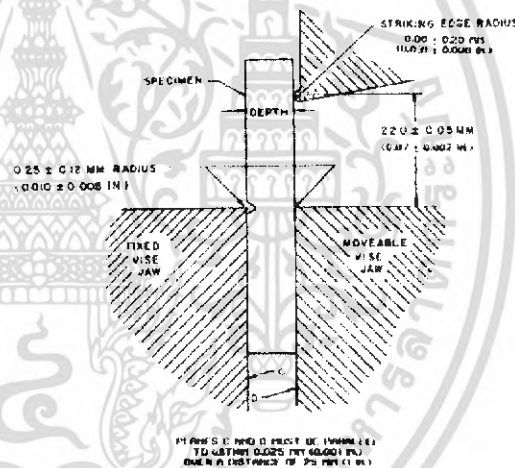


FIG. 1B Relationship of Vise, Specimen, and Striking Edge to Each Other for Test Method E

unnotched specimen. (See 28.1.)<sup>8</sup>

## 5. Significance and Use

5.1 Before proceeding with these test methods, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, and testing parameters covered in the materials specification shall take precedence over those mentioned in these test methods. If there is no material specification, then the default conditions apply.

<sup>8</sup> Supporting data giving results of the interlaboratory tests are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1026.

## D 256

5.2 The excess energy pendulum impact test indicates the energy to break standard test specimens of specified size under stipulated parameters of specimen mounting, notching, and pendulum velocity-at-impact.

5.3 The energy lost by the pendulum during the breakage of the specimen is the sum of the following:

- 5.3.1 Energy to initiate fracture of the specimen;
- 5.3.2 Energy to propagate the fracture across the specimen;
- 5.3.3 Energy to throw the free end (or ends) of the broken specimen ("toss correction");
- 5.3.4 Energy to bend the specimen;
- 5.3.5 Energy to produce vibration in the pendulum arm;
- 5.3.6 Energy to produce vibration or horizontal movement of the machine frame or base;
- 5.3.7 Energy to overcome friction in the pendulum bearing and in the excess energy indicating mechanism, and to overcome windage (pendulum air drag);
- 5.3.8 Energy to indent or deform plastically the specimen at the line of impact; and
- 5.3.9 Energy to overcome the friction caused by the rubbing of the striker (or other part of the pendulum) over the face of the bent specimen.

5.4 For relatively brittle materials, for which fracture propagation energy is small in comparison with the fracture initiation energy, the indicated impact energy absorbed is, for all practical purposes, the sum of factors 5.3.1 and 5.3.3. The toss correction (see 5.3.3) may represent a very large fraction of the total energy absorbed when testing relatively dense and brittle materials. Test Method C shall be used for materials that have an Izod impact resistance of less than 27 J/m (0.5 ft-lbf/in.). (See Appendix X5 for optional units.) The toss correction obtained in Test Method C is only an approximation of the toss error, since the rotational and rectilinear velocities may not be the same during the re-toss of the specimen as for the original toss, and because stored stresses in the specimen may have been released as kinetic energy during the specimen fracture.

5.5 For tough, ductile, fiber filled, or cloth-laminated materials, the fracture propagation energy (see 5.3.2) may be large compared to the fracture initiation energy (see 5.3.1). When testing these materials, factors (see 5.3.2, 5.3.5, and 5.3.9) can become quite significant, even when the specimen is accurately machined and positioned and the machine is in good condition with adequate capacity. (See Note 6.) Bending (see 5.3.4) and indentation losses (see 5.3.8) may be appreciable when testing soft materials.

**Note 6**—Although the frame and base of the machine should be sufficiently rigid and massive to handle the energies of tough specimens without motion or excessive vibration, the design must ensure that the center of percussion be at the center of strike. Locating the striker precisely at the center of percussion reduces vibration of the pendulum arm when used with brittle specimens. However, some losses due to pendulum arm vibration, the amount varying with the design of the pendulum, will occur with tough specimens, even when the striker is properly positioned.

5.6 In a well-designed machine of sufficient rigidity and mass, the losses due to factors 5.3.6 and 5.3.7 should be very small. Vibrational losses (see 5.3.6) can be quite large when wide specimens of tough materials are tested in machines of insufficient mass, not securely fastened to a heavy base.

5.7 With some materials, a critical width of specimen may

be found below which specimens will appear ductile, as evidenced by considerable drawing or necking down in the region behind the notch and by a relatively high-energy absorption, and above which they will appear brittle as evidenced by little or no drawing down or necking and by a relatively low-energy absorption. Since these methods permit a variation in the width of the specimens, and since the width dictates, for many materials, whether a brittle, low-energy break or a ductile, high energy break will occur, it is necessary that the width be stated in the specification covering that material and that the width be reported along with the impact resistance. In view of the preceding, one should not make comparisons between data from specimens having widths that differ by more than a few mils.

5.8 The type of failure for each specimen shall be recorded as one of the four categories listed as follows:

C	<i>Complete Break</i> —A break where the specimen separates into two or more pieces.
H	<i>Hinge Break</i> —An incomplete break, such that one part of the specimen cannot support itself above the horizontal when the other part is held vertically (less than 90° included angle).
P	<i>Partial Break</i> —An incomplete break that does not meet the definition for a hinge break but has fractured at least 90% of the distance between the vertex of the notch and the opposite side.
NB	<i>Non-Break</i> —An incomplete break where the fracture extends less than 90% of the distance between the vertex of the notch and the opposite side.

For tough materials, the pendulum may not have the energy necessary to complete the breaking of the extreme fibers and toss the broken piece or pieces. Results obtained from "non-break" specimens shall be considered a departure from standard and shall not be reported as a standard result. Impact resistance cannot be directly compared for any two materials that experience different types of failure as defined in the test method by this code. Averages reported must likewise be derived from specimens contained within a single failure category. This letter code shall suffix the reported impact identifying the types of failure associated with the reported value. If more than one type of failure is observed for a sample material, then the report will indicate the average impact resistance for each type of failure, followed by the percent of the specimens failing in that manner and suffixed by the letter code.

5.9 The value of the impact methods lies mainly in the areas of quality control and materials specification. If two groups of specimens of supposedly the same material show significantly different energy absorptions, types of breaks, critical widths, or critical temperatures, it may be assumed that they were made of different materials or were exposed to different processing or conditioning environments. The fact that a material shows twice the energy absorption of another under these conditions of test does not indicate that this same relationship will exist under another set of test conditions. The order of toughness may even be reversed under different testing conditions.

## TEST METHOD A—CANTILEVER BEAM TEST

## 6. Apparatus

6.1 The machine shall consist of a massive base on which is mounted a vise for holding the specimen and to which is connected, through a rigid frame and bearings, a pendulum-

## D 256

type hammer. (See 6.2.) The machine must also have a pendulum holding and releasing mechanism and a pointer and dial mechanism for indicating the excess energy remaining in the pendulum after breaking the specimen. Optionally, an electronic digital display or computer can be used in place of the dial and pointer to measure the energy loss and indicate the breaking energy of the specimen.

6.2 A jig for positioning the specimen in the vise and graphs or tables to aid in the calculation of the correction for friction and windage also should be included. One type of machine is shown in Fig. 2. One design of specimen-positioning jig is illustrated in Fig. 3. Detailed requirements are given in subsequent paragraphs. General test methods for checking and calibrating the machine are given in Appendix X1. Additional instructions for adjusting a particular machine should be supplied by the manufacturer.

6.3 The pendulum shall consist of a single or multi-membered arm with a bearing on one end and a head, containing the striker, on the other. The arm must be sufficiently rigid to maintain the proper clearances and geometric relationships between the machine parts and the specimen and to minimize vibrational energy losses that are always included in the measured impact resistance. Both simple and compound pendulum designs may comply with this test method.

6.4 The striker of the pendulum shall be hardened steel and shall be a cylindrical surface having a radius of curvature of  $0.80 \pm 0.20$  mm ( $0.031 \pm 0.008$  in.) with its axis horizontal and perpendicular to the plane of swing of the pendulum. The line of contact of the striker shall be located at the center of percussion of the pendulum within  $\pm 2.54$  mm ( $\pm 0.100$  in.) (See Note 7.) Those portions of the pendulum adjacent to the cylindrical striking edge shall be recessed or inclined at a suitable angle so that there will be no chance for other than this cylindrical surface coming in

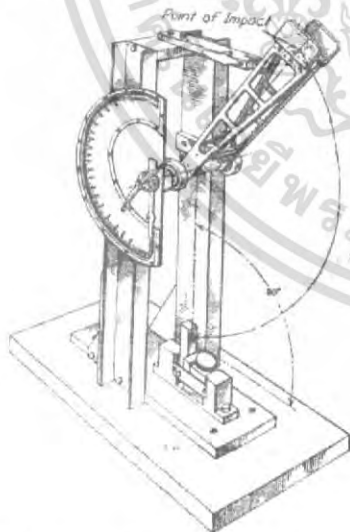


FIG. 2 Cantilever Beam (Izod-Type) Impact Machine



FIG. 3 Jig for Positioning Specimen for Clamping

contact with the specimen during the break.

NOTE 7—The distance from the axis of support to the center of percussion may be determined experimentally from the period of small amplitude oscillations of the pendulum by means of the following equation:

$$L = (g/4\pi^2)p^2$$

where:

$L$  = distance from the axis of support to the center of percussion, m (or ft).

$g$  = local gravitational acceleration (known to an accuracy of one part in one thousand),  $m/s^2$  (or  $ft/s^2$ ).

$\pi = 3.1416$  ( $4\pi^2 = 39.48$ ), and

$p$  = period, s, of a single complete swing (to and fro) determined by averaging at least 20 consecutive and uninterrupted swings. The angle of swing shall be less than  $5^\circ$  each side of center.

6.5 The position of the pendulum holding and releasing mechanism shall be such that the vertical height of fall of the striker shall be  $610 \pm 2$  mm ( $24.0 \pm 0.1$  in.). This will produce a velocity of the striker at the moment of impact of approximately 3.5 m (11.4 ft)/s. (See Note 8.) The mechanism shall be so constructed and operated that it will release the pendulum without imparting acceleration or vibration to it.

NOTE 8—  $V = (2gh)^{0.5}$

where:

$V$  = velocity of the striker at the moment of impact (m/s).

$g$  = local gravitational acceleration ( $m/s^2$ ), and

$h$  = vertical height of fall of the striker (m).

This assumes no windage or friction.

6.6 The effective length of the pendulum shall be between 0.33 and 0.40 m (12.8 and 16.0 in.) so that the required elevation of the striker may be obtained by raising the pendulum to an angle between  $60^\circ$  and  $30^\circ$  above the horizontal.

6.7 The machine shall be provided with a basic pendulum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

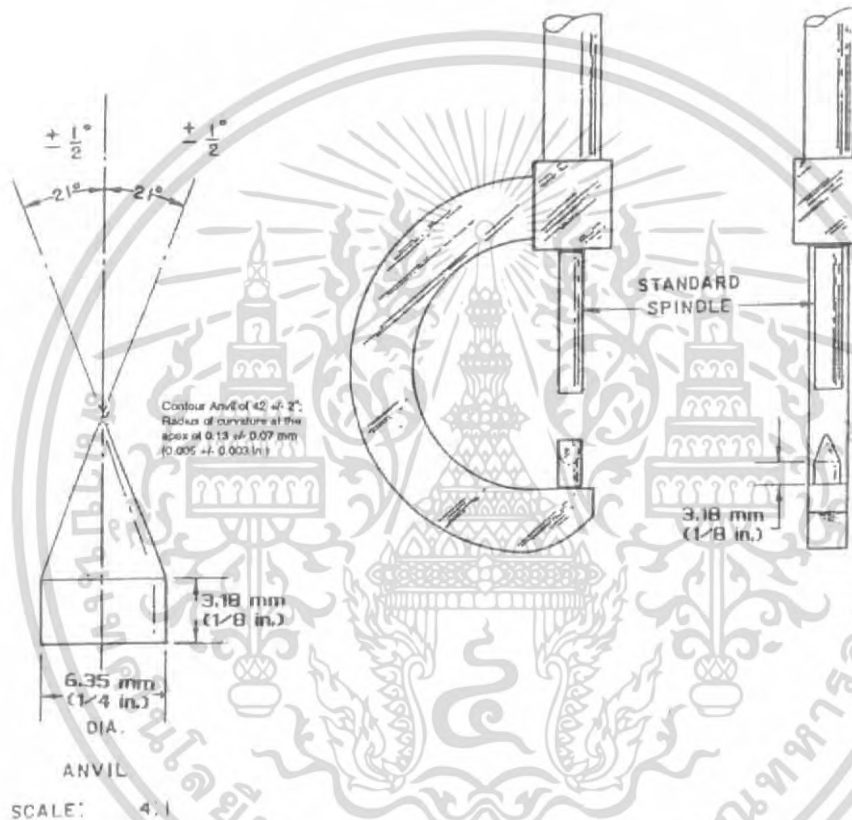
## D 256

capable of delivering an energy of  $2.7 \pm 0.14 \text{ J}$  ( $2.00 \pm 0.10 \text{ ft}\cdot\text{lb}$ ). This pendulum shall be used with all specimens that extract less than 85 % of this energy. Heavier pendulums shall be provided for specimens that require more energy to break. These may be separate interchangeable pendulums or one basic pendulum to which extra pairs of equal calibrated weights may be rigidly attached to opposite sides of the pendulum. It is imperative that the extra weights shall not significantly change the position of the center of percussion or the free-hanging rest point of the pendulum (that would consequently take the machine outside of the allowable calibration tolerances). A range of pendulums having energies from 2.7 to 21.7 J (2 to 16 ft·lb) has been found to be

sufficient for use with most plastic specimens and may be used with most machines. A series of pendulums such that each has twice the energy of the next will be found convenient. Each pendulum shall have an energy within  $\pm 0.5 \%$  of its nominal capacity.

6.8 A vise shall be provided for clamping the specimen rigidly in position so that the long axis of the specimen is vertical and at right angles to the top plane of the vise. (See Fig. 1.) This top plane shall bisect the angle of the notch with a tolerance of 0.12 mm (0.005 in.). Correct positioning of the specimen is generally done with a jig furnished with the machine. The top edges of the fixed and moveable jaws shall have a radius of  $0.25 \pm 0.12 \text{ mm}$  ( $0.010 \pm 0.005 \text{ in.}$ ). For

## IZOD



- NOTE 1—These views not to scale.  
 NOTE 2—Micrometer to be satin-chrome finished with friction thimble.  
 NOTE 3—Special anvil for micrometer caliper 0 to 25.4 mm range (50.8 mm frame) (0 to 1 in. range (2-in. frame)).  
 NOTE 4—Anvil to be oriented with respect to frame as shown.  
 NOTE 5—Anvil and spindle to have hardened surfaces.  
 NOTE 6—Range: 0 to 25.4 mm (0 to 1 in. in thousandths of an inch).  
 NOTE 7—Adjustment must be at zero when spindle and anvil are in contact.

FIG. 4 Early (ca. 1970) Version of a Notch-Depth Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

specimens whose thickness approaches the lower limiting value of 3.00 mm (0.118 in.), means shall be provided to prevent the lower half of the specimen from moving during the clamping or testing operations (see Fig. 3 and Note 9.)

**NOTE 9**—Some plastics are sensitive to clamping pressure; therefore, cooperating laboratories should agree upon some means of standardizing the clamping force. One method is using a torque wrench on the screw of the specimen vise. If the faces of the vise or specimen are not flat and parallel, a greater sensitivity to clamping pressure may be evident. See the calibration procedure in Appendix X2 for adjustment and correction instructions for faulty instruments.

6.9 When the pendulum is free hanging, the striking surface shall come within 0.2 % of scale of touching the front face of a standard specimen. During an actual swing this element shall make initial contact with the specimen on a line  $22.00 \pm 0.05$  mm ( $0.87 \pm 0.002$  in.) above the top surface of the vise.

6.10 Means shall be provided for determining energy remaining in the pendulum after breaking the specimen. This may consist of a pointer and dial mechanism which indicate the height of rise of the pendulum beyond the point of impact in terms of energy removed from that specific pendulum. Since the indicated remaining energy must be corrected for pendulum-bearing friction, pointer friction, pointer inertia, and pendulum windage, instructions for making these corrections are included in 10.3 and Annexes A1 and A2. Optionally, an electronic digital display or computer can be used in place of the dial and pointer to measure the energy loss and indicate the breaking energy of the specimen. If the electronic display does not automatically correct for windage and friction, it shall be incumbent for the operator to determine the energy loss manually. (See Note 10.)

**NOTE 10**—Many digital indicating systems automatically correct for windage and friction. The equipment manufacturer may be consulted for details concerning how this is performed, or if it is necessary to determine the means for manually calculating the energy loss due to windage and friction.

6.11 The vise, pendulum, and frame shall be sufficiently rigid to maintain correct alignment of the hammer and specimen, both at the moment of impact and during the propagation of the fracture, and to minimize energy losses due to vibration. The base shall be sufficiently massive that the impact will not cause it to move. The machine shall be so designed, constructed, and maintained that energy losses due to pendulum air drag (windage), friction in the pendulum bearings, and friction and inertia in the excess energy-indicating mechanism are held to a minimum.

6.12 A check of the calibration of an impact machine is difficult to make under dynamic conditions. The basic parameters are normally checked under static conditions; if the machine passes the static tests, then it is assumed to be accurate. The calibration procedure in Appendix X2 should be used to establish the accuracy of the equipment. However, for some machine designs it might be necessary to change the recommended method of obtaining the required calibration measurements. Other methods of performing the required checks may be substituted, provided that they can be shown to result in an equivalent accuracy. Appendix X1 also describes a dynamic test for checking certain features of the machine and specimen.

## 7. Test Specimens

7.1 The test specimens shall conform to the dimension and geometry of Fig. 5, except as modified in accordance with 7.2, 7.3, 7.4, and 7.5. To ensure the correct contour and conditions of the specified notch, all specimens shall be notched as directed in Section 8.

7.2 Molded specimens shall have a width between 3.0 and 12.7 mm (0.118 and 0.500 in.). Use the specimen width as specified in the material specification or as agreed upon between the supplier and the customer. All specimens having one dimension less than 12.7 mm (0.500 in.) shall have the notch cut on the shorter side. Otherwise, all compression-molded specimens shall be notched on the side parallel to the direction of application of molding pressure. (Due to the draft of the mold, the notched surface and the opposite surface may not be parallel in molded specimens. Therefore, it is essential that the notched surface be machined parallel to its opposite surface within 0.025 mm (0.001 in.), removing a minimum of material in the process, so as to remain within the allowable tolerance for the specimen depth). (See Fig. 5.)

7.2.1 Extreme care must be used in handling specimens less than 6.4 mm (0.250 in.) wide. Such specimens must be accurately positioned and supported to prevent twist or lateral buckling during the test. Some materials, furthermore, are very sensitive to clamping pressure (see Note 9).

7.2.2 A critical investigation of the mechanics of impact testing has shown that tests made upon specimens under 6.4 mm (0.250 in.) wide absorb more energy due to crushing, bending, and twisting than do wider specimens. Therefore, specimens 6.4 mm (0.250 in.) or over in width are recommended. The responsibility for determining the minimum specimen width shall be the investigator's, with due reference to the specification for that material.

7.2.3 Material specification should be consulted for preferred molding conditions. The type of mold and molding machine used and the flow behavior in the mold cavity will influence the impact resistance obtained. A specimen taken from one end of a molded plaque may give different results than a specimen taken from the other end. Cooperating laboratories should therefore agree on standard molds conforming to the material specification. Practice D 3641 can be used as a guide for general molding tolerances, but refer to the material specification for specific molding conditions.

7.2.4 The impact resistance of a plastic material may be different if the notch is perpendicular to, rather than parallel to, the direction of molding. The same is true for specimens cut with or across the grain of an anisotropic sheet or plate.

7.3 For sheet materials, the specimens shall be cut from the sheet in both the lengthwise and crosswise directions unless otherwise specified. The width of the specimen shall be the thickness of the sheet if the sheet thickness is between 3.0 and 12.7 mm (0.118 and 0.500 in.). Sheet material thicker than 12.7 mm shall be machined down to 12.7 mm. Specimens with a 12.7-mm square cross section may be tested either edgewise or flatwise as cut from the sheet. When specimens are tested flatwise, the notch shall be made on the machined surface if the specimen is machined on one face only. When the specimen is cut from a thick sheet, notation shall be made of the portion of the thickness of the sheet from which the specimen was cut, for example, center, top, or bottom surface.

## D 256

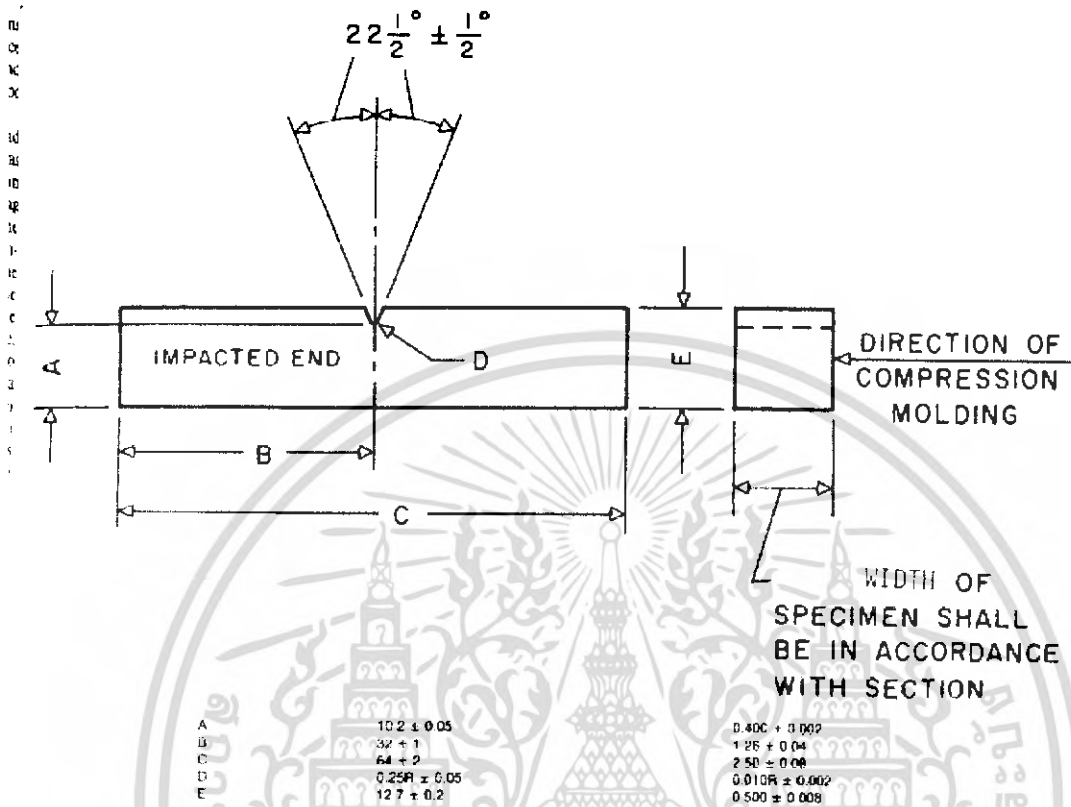


FIG. 5 Dimensions of Izod-Type Test Specimen

7.4 The practice of cementing, bolting, clamping, or otherwise combining specimens of substandard width to form a composite test specimen is not recommended and should be avoided since test results may be seriously affected by interface effects or effects of solvents and cements on energy absorption of composite test specimens, or both. However, if Izod test data on such thin materials are required when no other means of preparing specimens are available, and if possible sources of error are recognized and acceptable, the following technique of preparing composites may be utilized.

7.4.1 The test specimen shall be a composite of individual thin specimens totaling 6.4 to 12.7 mm (0.250 to 0.500 in.) in width. Individual members of the composite shall be accurately aligned with each other and clamped, bolted, or cemented together. The composite shall be machined to proper dimensions and then notched. In all such cases the use of composite specimens shall be noted in the report of test results.

7.4.2 Care must be taken to select a solvent or adhesive that will not affect the impact resistance of the material under test. If solvents or solvent-containing adhesives are

employed, a conditioning procedure shall be established to ensure complete removal of the solvent prior to test.

7.5 Each specimen shall be free of twist (see Note 11) and shall have mutually perpendicular pairs of plane parallel surfaces and free from scratches, pits, and sink marks. The specimens shall be checked for compliance with these requirements by visual observation against straightedges, squares, and flat plates, and by measuring with micrometer calipers. Any specimen showing observable or measurable departure from one or more of these requirements shall be rejected or machined to the proper size and shape before testing.

NOTE 11—A specimen that has a slight twist to its notched face of 0.05 mm (0.002 in.) at the point of contact with the pendulum striking edge will be likely to have a characteristic fracture surface with considerable greater fracture area than for a normal break. In this case the energy to break and loss the broken section may be considerably larger (20 to 30 %) than for a normal break. A tapered specimen may require more energy to bend it in the vise before fracture.

## 8. Notching Test Specimens

8.1 Notching shall be done on a milling machine, engine lathe, or other suitable machine tool. Both the feed speed and the cutter speed shall be constant throughout the





notching operation (see Note 12). Provision for cooling the specimen with either a liquid or gas coolant is recommended. A single-tooth cutter shall be used for notching the specimen, unless notches of an equivalent quality can be produced with a multi-tooth cutter. Single-tooth cutters are preferred because of the ease of grinding the cutter to the specimen contour and because of the smoother cut on the specimen. The cutting edge shall be carefully ground and honed to ensure sharpness and freedom from nicks and burrs. Tools with no rake and a work relief angle of 15 to 20° have been found satisfactory.

**NOTE 12**—For some thermoplastics, cutter speeds from 53 to 150 m/min (175 to 490 ft/min) at a feed speed of 89 to 160 mm/min (3.5 to 6.3 in./min) without a water coolant or the same cutter speeds at a feed speed of from 36 to 160 mm/min (1.4 to 6.3 in./min) with water coolant produced suitable notches.

8.2 Specimens may be notched separately or in a group. However, in either case an unnotched backup or “dummy bar” shall be placed behind the last specimen in the sample holder to prevent distortion and chipping by the cutter as it exits from the last test specimen.

8.3 The profile of the cutting tooth or teeth shall be such as to produce a notch of the contour and depth in the test specimen as specified in Fig. 5 (see Note 13). The included angle of the notch shall be  $45 \pm 1^\circ$  with a radius of curvature at the apex of  $0.25 \pm 0.05$  mm ( $0.010 \pm 0.002$  in.). The plane bisecting the notch angle shall be perpendicular to the face of the test specimen within 2°.

**NOTE 13**—There is evidence that notches in materials of widely varying physical dimensions may differ in contour even when using the same cutter. If the notch in the specimen should take the contour of the cutter, then the contour of the tip of the cutter may be checked instead of the notch in the specimen for single-tooth cutters. Under the same condition, multi-tooth cutters may be checked by measuring the contour of a strip of soft metal shim inserted between two specimens for notching.

8.4 The depth of the plastic material remaining in the specimen under the notch shall be  $10.20 \pm 0.05$  mm ( $0.400 \pm 0.002$  in.). This dimension shall be measured, with a micrometer or other suitable measuring device. (See Fig. 4.)

8.5 Cutter speed and feed speed should be chosen appropriate for the material being tested since the quality of the notch may be adversely affected by thermal deformations and stresses induced during the cutting operation if proper conditions are not selected.<sup>9</sup> The notching parameters used shall not alter the physical state of the material such as by raising the temperature of a thermoplastic above its glass transition temperature. In general, high cutter speeds, slow feed rates, and lack of coolant induce more thermal damage than a slow cutter speed, fast feed speed, and the use of a coolant. Too high a feed speed/cutter speed ratio, however, may cause impacting and cracking of the specimen. The range of cutter speed/feed ratios possible to produce acceptable notches can be extended by the use of a suitable coolant. (See Note 14.) In the case of new types of plastics, it is necessary to study the effect of variations in the notching conditions. (See Note 15.)

<sup>9</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D20-1066.

**NOTE 14**—Water or compressed gas is a suitable coolant for many plastics.

**NOTE 15**—Embedded thermocouples, or another temperature measuring device, can be used to determine the temperature rise in the material near the apex of the notch during machining. Thermal stresses induced during the notching operation can be observed in transparent materials by viewing the specimen at low magnification between crossed polars in monochromatic light.

8.6 The specimen notch produced by each cutter will be examined, at a minimum, after every 500 notches. The notch in the specimen, made of the material to be tested, shall be inspected and verified. One procedure for the inspection and verification of the notch is presented in Appendix X1. Each type of material being notched must be inspected and verified at that time. If the angle or radius does not fall within the specified limits for materials of satisfactory machining characteristics, then the cutter shall be replaced with a newly sharpened and honed one. (See Note 16.)

**NOTE 16**—A carbide-tipped or industrial diamond-tipped notching cutter is recommended for longer service life.

## 9. Conditioning

9.1 **Conditioning**—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h after notching and prior to testing in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless it can be documented (between supplier and customer) that a shorter conditioning time is sufficient for a given material to reach equilibrium of impact resistance.

9.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing “dry as-molded specimens.” Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50% relative humidity and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

9.2 **Test Conditions**—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified in the material specification or by customer requirements. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

## 10. Procedure

10.1 At least five and preferably ten or more individual determinations of impact resistance must be made on each sample to be tested under the conditions prescribed in Section 9. Each group shall consist of specimens with the same nominal width ( $\pm 0.13$  mm ( $\pm 0.005$  in.)). In the case of specimens cut from sheets that are suspected of being anisotropic, prepare and test specimens from each principal direction (lengthwise and crosswise to the direction of anisotropy).

10.2 Estimate the breaking energy for the specimen and select a pendulum of suitable energy. Use the lightest standard pendulum that is expected to break each specimen in the group with a loss of not more than 85% of its energy (see Note 17). Check the machine with the proper pendulum in place for conformity with the requirements of Section 6 before starting the tests. (See Appendix X1.)

## D 256

NOTE 17—Ideally an impact test would be conducted at a constant test velocity. In a pendulum-type test, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have an impact energy approaching the capacity of the pendulum there is insufficient energy to complete the break and loss. By avoiding the higher 15 % scale energy readings, the velocity of the pendulum will not be reduced below 1.3 m/s (4.4 ft/s). On the other hand, the use of too heavy a pendulum would reduce the sensitivity of the reading.

10.3 If the machine is equipped with a mechanical pointer and dial, perform the following operations before testing the specimens:

10.3.1 With the excess energy indicating pointer in its normal starting position but without a specimen in the vise, release the pendulum from its normal starting position and note the position the pointer attains after the swing as one reading of Factor *A*.

10.3.2 Without resetting the pointer, raise the pendulum and release again. The pointer should move up the scale an additional amount. Repeat (10.3.2) until a swing causes no additional movement of the pointer and note the final reading as one reading of Factor *B* (see Note 18).

10.3.3 Repeat the preceding two operations several times and calculate and record the average *A* and *B* readings.

NOTE 18—Factor *B* is an indication of the energy lost by the pendulum to friction in the pendulum bearings and to windage. The difference *A* - *B* is an indication of the energy lost to friction and inertia in the excess energy indicating mechanism. However, the actual corrections will be smaller than these factors, since in an actual test the energy absorbed by the specimen prevents the pendulum from making a full swing. Therefore, the indicated breaking energy of the specimen must be included in the calculation of the machine correction before determining the breaking energy of the specimen (see 10.7). The *A* and *B* values also provide an indication of the condition of the machine.

10.3.4 If excessive friction is indicated, the machine shall be adjusted before starting a test. If the machine is equipped with a digital energy indicating system, follow the manufacturer's instructions to correct for windage and friction. If excessive friction is indicated, the machine shall be adjusted before starting a test.

10.4 Check the specimens for conformity with the requirements of Sections 7, 8, and 10.1.

10.5 Measure the width and depth to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) after notching of each specimen. Measure the width in the region of the notch. A micrometer or other measuring device is necessary for measuring the depth. (See Fig. 4.)

10.6 Position the specimen precisely (see 6.7) so that it is rigidly, but not too tightly (see Note 9), clamped in the vise. Pay special attention to ensure that the "impacted end" of the specimen as shown and dimensioned in Fig. 5 is the end projecting above the vise. Release the pendulum and record the excess energy remaining in the pendulum after breaking the specimen, together with a description of the appearance of the broken specimen (see failure categories in 5.8).

10.7 Subtract the windage and friction correction from the indicated breaking energy of the specimen, unless determined automatically by the indicating system (that is, digital display or computer). If a mechanical dial and pointer is employed, use the *A* and *B* factors and the appropriate tables or the graph described in Annexes A1 and A2 to determine the correction. For those digital systems that do not automatically compensate for windage and friction, follow the

manufacturer's procedure for performing this correction.

10.7.1 In other words, either manually or automatically, the windage and friction correction value is subtracted from the uncorrected, indicated breaking energy to obtain the new breaking energy. Compare the net value so found with the energy requirement of the hammer specified in 10.2. If a hammer of improper energy was used, discard the result and make additional tests on new specimens with the proper hammer. (See Annexes A1 and A2.)

10.8 Divide the net value found in 10.7 by the measured width of the particular specimen to obtain the impact resistance under the notch in J/m (ft·lbf/in.). If the optional units of kJ/m<sup>2</sup> (ft·lbf/in.<sup>2</sup>) are used, divide the net value found in 10.7 by the measured width and depth under the notch of the particular specimen to obtain the impact strength. The term, "depth under the notch," is graphically represented by Dimension *A* in Fig. 5. Consequently, the cross-sectional area (width times depth under the notch) will need to be reported. (See Appendix X5.)

10.9 Calculate the average Izod impact resistance of the group of specimens. However, only values of specimens having the same nominal width and type of break may be averaged. Values obtained from specimens that did not break in the manner specified in 5.8 shall not be included in the average. Also calculate the standard deviation of the group of values.

## 11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 The test method used (Test Method A, C, D, or E).

11.1.2 Complete identification of the material tested, including type source, manufacturer's code number, and previous history.

11.1.3 A statement of how the specimens were prepared, the testing conditions used, the number of hours the specimens were conditioned after notching, and, for sheet materials, the direction of testing with respect to anisotropy, if any.

11.1.4 The capacity of the pendulum in joules, or foot pound-force, or inch pound-force.

11.1.5 The width and depth under the notch of each specimen tested (see 5.6).

11.1.6 The total number of specimens tested per sample of material.

11.1.7 The type of failure (see 5.8).

11.1.8 The impact resistance must be reported in J/m (ft·lbf/in.); the optional units of kJ/m<sup>2</sup> (ft·lbf/in.<sup>2</sup>) may also be required (see 10.8).

11.1.9 The number of those specimens that resulted in failures which conforms to each of the requirement categories in 5.8.

11.1.10 The average impact resistance and standard deviation (in J/m (ft·lbf/in.)) for those specimens in each failure category, except non-break as presented in 5.8. Optional units (kJ/m<sup>2</sup> (ft·lbf/in.<sup>2</sup>)) may also need to be reported (see Appendix X5), and

11.1.11 The percent of specimens failing in each category suffixed by the corresponding letter code from 5.8.




**D 256**
**TEST METHOD C—CANTILEVER BEAM TEST FOR MATERIALS OF LESS THAN 27 J/m (0.5 ft·lb/in.)**
**12. Apparatus**

12.1 The apparatus shall be the same as specified in Section 6.

**13. Test Specimens**

13.1 The test specimens shall be the same as specified in Section 7.

**14. Notching Test Specimens**

14.1 Notching test specimens shall be the same as specified in Section 8.

**15. Conditioning**

15.1 Specimen conditioning and test environment shall be in accordance with Section 9.

**16. Procedure**

16.1 The procedure shall be the same as in Section 10 with the addition of a procedure for estimating the energy to toss the broken specimen part.

16.1.1 Make an estimate of the magnitude of the energy to toss each different type of material and each different specimen size (width). This is done by repositioning the free end of the broken specimen on the clamped portion and striking it a second time with the pendulum released in such a way as to impart to the specimen approximately the same velocity it had attained during the test. This is done by releasing the pendulum from a height corresponding to that to which it rose following the breakage of the test specimen. The energy to toss is then considered to be the difference between the reading previously described and the free swing reading obtained from this height. A reproducible method of starting the pendulum from the proper height must be devised.

**17. Report**

- 17.1 Report the following information:
- 17.1.1 Same as 11.1.1.
  - 17.1.2 Same as 11.1.2.
  - 17.1.3 Same as 11.1.3.
  - 17.1.4 Same as 11.1.4.
  - 17.1.5 Same as 11.1.5.
  - 17.1.6 Same as 11.1.6.
  - 17.1.7 The average reversed notch impact resistance,  $J/m^2$  (ft·lb/in.) (see 5.8 for failure categories).
  - 17.1.8 Same as 11.1.8.
  - 17.1.9 Same as 11.1.9.
  - 17.1.10 Same as 11.1.10, and
  - 17.1.11 Same as 11.1.11.
  - 17.1.12 The estimated toss correction, expressed in terms of joule (J) or foot pound-force (ft·lb).
  - 17.1.13 The difference between the Izod impact energy and the toss correction energy is the net Izod energy. This

value is divided by the specimen width (at the base of notch) to obtain the net Izod impact resistance for the report.

**TEST METHOD D—NOTCH RADIUS SENSITIVITY TEST**
**18. Apparatus**

18.1 The apparatus shall be the same as specified in Section 6.

**19. Test Specimens**

19.1 The test specimens shall be the same as specified in Section 7. All specimens must be of the same nominal width, preferably 6.4-mm (0.25-in.).

**20. Notching Test Specimens**

20.1 Notching shall be done as specified in Section 8 and Fig. 5, except those ten specimens shall be notched with a radius of 0.25 mm (0.010 in.) and ten specimens with a radius of 1.0 mm (0.040 in.).

**21. Conditioning**

21.1 Specimen conditioning and test environment shall be in accordance with Section 9.

**22. Procedure**

22.1 Proceed in accordance with Section 10, testing ten specimens of each notch radius.

22.2 The average impact resistance of each group shall be calculated, except that within each group the type of break must be homogeneously C, H, C and H, or P.

22.3 If the specimens with the 0.25-mm (0.010-in.) radius notch do not break, the test is not applicable.

22.4 If any of ten specimens tested with the 1.0-mm (0.040-in.) radius notch fail as in category NB, non-break, the notch sensitivity procedure cannot be used without obtaining additional data. A new set of specimens should be prepared from the same sample, using a 0.50-mm (0.020-in.) notch radius and the procedure of 22.1 and 22.2 repeated.

**23. Calculation**

23.1 Calculate the slope of the line connecting the values for impact resistance for 0.25 and 1.0-mm notch radii (or 0.010 and 0.040-in. notch radii) by the equation presented as follows. (If a 0.500-mm (0.020-in.) notch radius is substituted, adjust the calculation accordingly.)

$$b = (E_2 - E_1)/(R_2 - R_1)$$

where:

$E_2$  = average impact resistance for the larger notch, J/m of notch,

$E_1$  = average impact resistance for the smaller notch, J/m of notch,

$R_2$  = radius of the larger notch, mm, and

$R_1$  = radius of the smaller notch, mm.

Example:

$$E_{1.0} = 330.95 \text{ J/m}; E_{0.25} = 138.78 \text{ J/m}$$

$$b = (330.95 - 138.78 \text{ J/m})/(1.00 - 0.25 \text{ mm})$$

$$b = 192.17 \text{ J/m } 0.75 \text{ mm} = 256.23 \text{ J/m}$$

of notch per mm of radius

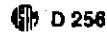


TABLE 1 Precision Data, Test Method A—Izod

NOTE 1—Values in ft·lb/in. of width (J/m of width)  
NOTE 2—See Footnote 10.

Material	Average	$S_r^A$	$S_n^B$	$t_r^C$	$t_n^D$	Number of Laboratories
Phenolic	0.57 (30.4)	0.024 (1.3)	0.076 (4.1)	0.06 (3.2)	0.21 (11.2)	19
Acetal	1.45 (77.4)	0.075 (4.0)	0.804 (32.3)	0.21 (11.2)	1.70 (90.8)	9
Reinforced nylon	1.99 (105.7)	0.083 (4.4)	0.245 (13.1)	0.23 (12.3)	0.69 (36.8)	15
Polypropylene	2.66 (142.0)	0.154 (8.2)	0.573 (30.8)	0.43 (23.0)	1.62 (86.5)	24
ABS	10.80 (576.7)	0.136 (7.3)	0.585 (31.2)	0.38 (20.3)	1.65 (88.1)	25
Polycarbonate	16.40 (875.8)	0.296 (15.8)	1.056 (58.4)	0.63 (44.3)	2.98 (158.1)	25

<sup>A</sup>  $S_r$  = within-laboratory standard deviation of the average.  
<sup>B</sup>  $S_n$  = between-laboratories standard deviation of the average.  
<sup>C</sup>  $t_r$  = 2.83  $S_r$ .  
<sup>D</sup>  $t_n$  = 2.83  $S_n$ .

TABLE 2 Precision Data, Test Method C—Izod with Toss Correction

NOTE 1—Values in ft·lb/in. of width (J/m of width)  
NOTE 2—See Footnote 10.

Material	Average	$S_r^A$	$S_n^B$	$t_r^C$	$t_n^D$	Number of Laboratories
Phenolic	0.45 (24.9)	0.038 (2.0)	0.129 (6.9)	0.10 (5.3)	0.36 (19.2)	15

<sup>A</sup>  $S_r$  = within-laboratory standard deviation of the average.  
<sup>B</sup>  $S_n$  = between-laboratories standard deviation of the average.  
<sup>C</sup>  $t_r$  = 2.83  $S_r$ .  
<sup>D</sup>  $t_n$  = 2.83  $S_n$ .

TABLE 3 Precision Data, Test Method E—Reversed Notch Izod

NOTE 1—Values in ft·lb/in. of width (J/m of width)  
NOTE 2—See Footnote 8.

Material	Average	$S_r^A$	$S_n^B$	$t_r^C$	$t_n^D$
Acrylic sheet, unmodified	3.02 (161.3)	0.243 (13.0)	0.525 (28.0)	0.66 (36.3)	0.71 (37.9)
Premix molding compounds laminate	5.11 (326.3)	0.767 (41.0)	0.766 (42.0)	2.17 (115.9)	2.22 (118.5)
Acrylic, injection molded	10.33 (551.6)	0.878 (46.9)	1.276 (68.1)	2.49 (133.0)	3.81 (192.8)
compound (SMC) laminate	11.00 (587.4)	0.719 (38.4)	0.785 (41.9)	2.03 (108.4)	2.22 (118.5)
Preformed mat laminate	19.43 (1037.6)	0.960 (51.3)	1.618 (86.4)	2.72 (145.2)	4.58 (244.6)

<sup>A</sup>  $S_r$  = within-laboratory standard deviation of the average.  
<sup>B</sup>  $S_n$  = between-laboratories standard deviation of the average.  
<sup>C</sup>  $t_r$  = 2.83  $S_r$ .  
<sup>D</sup>  $t_n$  = 2.83  $S_n$ .

## 24. Report

- 24.1 Report the following information:
- 24.1.1 Same as 11.1.1.
  - 24.1.2 Same as 11.1.2.
  - 24.1.3 Same as 11.1.3.
  - 24.1.4 Same as 11.1.4.
  - 24.1.5 Same as 11.1.5.
  - 24.1.6 Same as 11.1.6.
  - 24.1.7 The average reversed notch impact resistance, in J/m (ft·lb/in.) (see 5.8 for failure categories).
  - 24.1.8 Same as 11.1.8.
  - 24.1.9 Same as 11.1.9.
  - 24.1.10 Same as 11.1.10, and
  - 24.1.11 Same as 11.1.11.
  - 24.1.12 Report the average value of  $b$  with its units, and the average Izod impact resistance for a 0.25-mm (0.010-in.) notch.

## TEST METHOD E—CANTILEVER BEAM REVERSED NOTCH TEST

### 25. Apparatus

- 25.1 The apparatus shall be the same as specified in Section 6.

## 26. Test Specimens

- 26.1 The test specimen shall be the same as specified in Section 7.

## 27. Notching Test Specimens

- 27.1 Notch the test specimens in accordance with Section 8.

## 28. Conditioning

- 28.1 Specimen conditioning and test environment shall be in accordance with Section 9.

## 29. Procedure

- 29.1 Proceed in accordance with Section 10, except clamp the specimen so that the striker impacts it on the face opposite the notch, hence subjecting the notch to compressive rather than tensile stresses during impact (see Fig. 1( $h$ ) and Notes 19, 20, and 21).

Note 19—The reversed notch test employs a standard 0.25-mm (0.010-in.) notch specimen to provide an indication of unnotched impact resistance. Use of the reversed notch test obviates the need for machining unnotched specimens to the required  $10.2 \pm 0.05$ -mm (0.400  $\pm$  0.002-in.) depth before testing and provides the same convenience of specimen mounting as the standard notch tests (Test Methods A and C).



NOTE 20—Results obtained by the reversed notch test may not always agree with those obtained on unnotched bars that have been machined to the 10.2-mm (0.400-in.) depth requirement. For some materials, the effects arising from the difference in the clamped masses of the two specimen types during test, and those attributable to a possible difference in loss energies ascribed to the broken ends of the respective specimens, may contribute significantly to a disparity in test results.

NOTE 21—Where materials are suspected of anisotropy, due to molding or other fabricating influences, notch reversed notch specimens on the face opposite to that used for the standard Izod test; that is, present the same face to the impact blow.

### 30. Report

30.1 Report the following information:

- 30.1.1 Same as 11.1.1,
- 30.1.2 Same as 11.1.2,
- 30.1.3 Same as 11.1.3,
- 30.1.4 Same as 11.1.4,
- 30.1.5 Same as 11.1.5,
- 30.1.6 Same as 11.1.6,
- 30.1.7 The average reversed notch impact resistance,  $J/m$  (ft · lbf/in.) (see 5.8 for failure categories),
- 30.1.8 Same as 11.1.8,
- 30.1.9 Same as 11.1.9,
- 30.1.10 Same as 11.1.10, and
- 30.1.11 Same as 11.1.11.

### 31. Precision and Bias

31.1 Tables 1 and 2 are based on a round robin<sup>10</sup> in accordance with Practice E 691. For each material, all the test bars were prepared at one source, except for notching. Each participating laboratory notched the bars that they tested. Tables 1 and 2 are presented on the basis of a test result being the average for five specimens. In the round robin each laboratory tested, on average, nine specimens of each material.

31.2 Table 3 is based on a round robin<sup>4</sup> involving five

<sup>10</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1034.

materials tested by seven laboratories. For each material, the samples were prepared at one source, and the individual specimens were all notched at the same laboratory. Table 3 is presented on the basis of a test result being the average for five specimens. In the round robin, each laboratory tested ten specimens of each material. (See Note 22.)

NOTE 22: Caution—The following explanations of  $I$ , and  $I_R$  (see 31.3 through 31.3.3) are only intended to present a meaningful way of considering the precision of this test method. The data in Tables 1 through 3 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Use of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 31.3 through 31.3.3 would then be valid for such data.

31.3 Concept of  $I$ , and  $I_R$ —If  $S$ , and  $S_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing five specimens.

31.3.1 Repeatability,  $I$ , (Comparing Two Test Results for the Same Material, Obtained by the Same Operator Using the Same Equipment on the Same Day)—The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I$ , value for that material.

31.3.2 Reproducibility,  $I_R$ , (Comparing Two Test Results for the Same Material, Obtained by Different Operators Using Different Equipment on Different Days)—The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_R$  value for that material.

31.3.3 Any judgment in accordance with 30.3.1 and 30.3.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

31.4 Bias—There is no recognized standards by which to estimate bias of these test methods.

NOTE 23—Numerous changes have occurred since the collection of the original round-robin data in 1971.<sup>10</sup> Consequently, a new task group has been formed to evaluate a precision and bias statement for the latest revision of these test methods.

### 32. Keywords

32.1 impact resistance; Izod impact; notch sensitivity; notched specimen; reverse notch impact



## Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 790; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This test method has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 1031 of Federal Test Method Standard 406. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of flexural properties of unreinforced and reinforced plastics, including high-modulus composites and electrical insulating materials in the form of rectangular bars molded directly or cut from sheets, plates, or molded shapes. These test methods are generally applicable to rigid and semirigid materials. However, flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or that do not fail in the outer fibers. Two test methods are described as follows:

1.1.1 *Test Method I*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Test Method II*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of either one-third or one-half of the support span.

1.2 Either test method can be used with the two procedures that follow:

1.2.1 *Procedure A*, designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.2.2 *Procedure B*, designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.3 Comparative tests may be run according to either test method or procedure, provided that the test method or procedure is found satisfactory for the material being tested.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in parentheses are for information only.

NOTE 1—A complete metric companion to Test Method D 790 has been developed—D 790M.

1.5 *This standard does not purport to address the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved Nov. 15, 1991. Published January 1991. Originally published as D 790 - 70. Last previous edition D 790 - 90.

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing<sup>2</sup>

D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>2</sup>

D 790M Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)<sup>2</sup>

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials<sup>3</sup>

D 4066 Specification for Nylon Injection and Extrusion Materials<sup>3</sup>

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines<sup>3,4</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>5</sup>

### 3. Summary of Test Methods

3.1 A bar of rectangular cross section is tested in flexure as a beam as follows:

3.1.1 *Test Method I*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

3.1.2 *Test Method II*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is either one-third or one-half of the support span (see Fig. 2).

3.2 The specimen is deflected until rupture occurs in the outer fibers or until the maximum fiber strain (see 11.9) of 5% is reached, whichever occurs first.

### 4. Significance and Use

4.1 Flexural properties determined by Test Method I are especially useful for quality control and specification purposes. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Materials that do not fail at the point of maximum stress under Test Method I should be tested by Test Method II. Flexural properties determined by Test Method II are also

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02

D 790

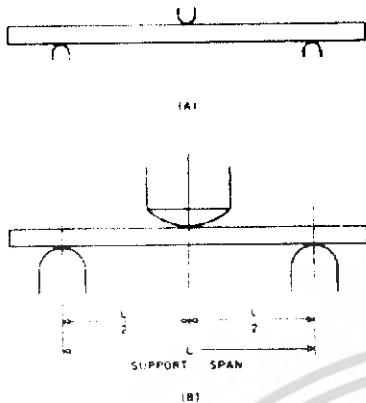


FIG. 1 Allowable Range of Loading Nose and Support Radii for Specimen 6.4 mm (0.25 in.) Thick

useful for quality control and specification purposes. The basic difference between the two test methods is in the location of the maximum bending moment and maximum axial fiber stresses. The maximum axial fiber stresses occur on a line under the loading nose in Test Method I and over the area between the loading noses in Test Method II.

4.3 Flexural properties may vary with specimen depth, temperature, atmospheric conditions, and the difference in rate of straining specified in Procedures A and B (see also Note 8).

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A properly calibrated testing machine that can be operated at constant rates of crosshead motion over the range indicated, and in which the error in the load measuring system shall not exceed  $\pm 1\%$  of maximum load expected to be measured. It shall be equipped with a deflection measuring device. The stiffness of the testing machine shall be such that the total elastic deformation of the system does not exceed 1% of the total deflection of the test specimen during testing, or appropriate corrections shall be made. The load indicating mechanism shall be essentially free from inertial lag at the crosshead rate used. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

5.2 *Loading Noses and Supports*—The loading nose or noses and supports shall have cylindrical surfaces. In order to avoid excessive indentation, or failure due to stress concentration directly under the loading nose or noses, the radius of the nose or noses and supports shall be at least 3.2 mm ( $1/8$  in.) for all specimens. For specimens 3.2 mm ( $1/8$  in.) or greater in depth, the radius of the supports may be up to 1.5 times the specimen depth. They shall be this large if significant indentation or compressive failure occurs. The arc of the loading nose in contact with the specimen shall be sufficiently large to prevent contact of the specimen with the

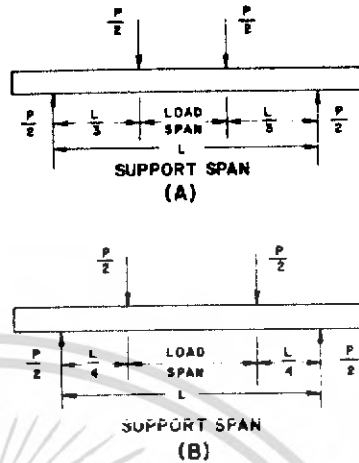


FIG. 2 Loading Diagram

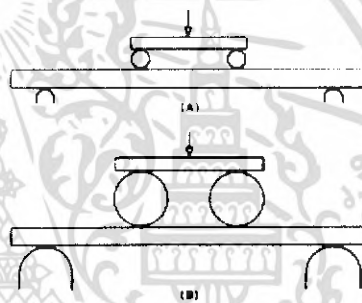


FIG. 3 Allowable Range of Loading and Support Noses Radii for Specimen 6.4 mm (0.25 in.) Thick

sides of the nose or noses (see Fig. 1 for Test Method I, Fig. 3 for Test Method II).

NOTE 2—Test data have shown that the loading nose and support dimensions can influence the flexural modulus values. The loading nose dimension has the greater influence. Dimensions of loading nose and supports must be specified for material specifications.

6. Test Specimens

6.1 The specimens may be cut from sheets, plates, or molded shapes, or may be molded to the desired finished dimensions.

NOTE 3—Any necessary polishing of specimens shall be done only in the lengthwise direction of the specimen.

6.2 *Sheet Materials* (except laminated thermosetting materials and certain materials used for electrical insulation, including vulcanized fiber and glass bonded mica):

6.2.1 *Materials 1.6 mm ( $1/16$  in.) or Greater in Thickness*—For flatwise tests, the depth of the specimen shall be



**TABLE 1 Recommended Dimensions for Test Specimens of Sections 6.3 and 6.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 7) Test Method I (3-Point Loading)**

Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Support Span-to-Depth Ratio (See Note 7)											
		L/d = 16 to 1			L/d = 32 to 1			L/d = 40 to 1			L/d = 60 to 1		
		Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min <sup>a</sup>	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min <sup>a</sup>	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min <sup>a</sup>	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min <sup>a</sup>
0.8 (1/8)	25 (1)	50 (2)	16 (5/8) <sup>b</sup>	0.5 (0.02)	50 (2)	25 (1)	1.3 (0.05)	80 (2 1/2)	30 (1 1/4)	2.0 (0.08)	60 (2 3/4)	48 (1 7/8)	4.8 (0.19)
1.6 (1/4)	25 (1)	50 (2)	25 (1)	2.8 (0.03)	80 (3)	50 (2)	2.8 (0.11)	90 (3 1/2)	60 (2 1/2)	4.3 (0.17)	124 (4 7/8)	95 (3 3/4)	9.4 (0.37)
2.4 (3/8)	25 (1)	60 (2 1/2)	40 (1 1/2)	1.0 (0.04)	100 (4)	80 (3)	4.1 (0.16)	120 (4 3/4)	95 (3 3/4)	6.4 (0.25)	185 (7 1/2)	143 (5 3/4)	14.2 (0.56)
3.2 (1/2)	25 (1)	80 (3)	50 (2)	1.3 (0.05)	130 (5)	100 (4)	5.3 (0.21)	180 (7)	130 (5)	8.4 (0.33)	247 (9 3/4)	190 (7 1/2)	18.8 (0.74)
4.8 (3/4)	13 (1/2)	100 (4)	80 (3)	2.0 (0.08)	191 (7 1/2)	150 (6)	8.1 (0.32)	240 (9 1/2)	191 (7 1/2)	12.7 (0.50)	372 (14 1/4)	288 (11 1/4)	28.4 (1.12)
6.4 (5/8)	13 (1/2)	130 (5)	100 (4)	2.8 (0.11)	250 (10)	200 (8)	10.9 (0.43)	330 (13)	250 (10)	17.0 (0.67)	495 (19 1/2)	381 (15)	37.8 (1.49)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	191 (7 1/2)	150 (6)	4.1 (0.16)	380 (15)	300 (12)	16.3 (0.64)	480 (19)	380 (15)	25.4 (1.00)	744 (29 1/4)	572 (22 1/2)	56.8 (2.24)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	250 (10)	200 (8)	5.3 (0.21)	495 (19 1/2)	410 (16)	21.6 (0.85)	640 (25)	510 (20)	34.0 (1.34)	991 (39)	762 (30)	76.2 (3.00)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	380 (15)	300 (12)	8.1 (0.32)	740 (29)	610 (24)	32.5 (1.28)	940 (37)	760 (30)	50.8 (2.00)	1486 (58 1/2)	1143 (45)	114 (4.49)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19 1/2)	410 (16)	10.9 (0.43)	990 (39)	810 (32)	43.4 (1.71)	1240 (49)	1020 (40)	67.8 (2.67)	1981 (78)	1524 (60)	152 (5.96)

<sup>a</sup> Rates indicated are for Procedure A where strain rate is 0.01 mm/mm/min (0.01 in./in./min). To obtain rates for Procedure B where strain rate is 0.10 mm/mm/min (0.10 in./in./min) multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes unless otherwise stated in the specifications. See 9.1.3 for the method of calculation.

<sup>b</sup> This support span-to-depth ratio is greater than 16 to 1 in order to give clearance between moving head and specimen support.

the thickness of the material. For edgewise tests, the width of the specimen shall be the thickness of the sheet and the depth shall not exceed the width (see Notes 4 and 5). For all tests, the support span shall be 16 (tolerance +4 or -2) times the depth of the beam. Specimen width shall not exceed one-fourth of the support span for specimens greater than 3.2 mm (1/8 in.) in depth. Specimens 3.2 mm (1/8 in.) or less in depth shall be 12.7 mm (1/2 in.) in width. The specimen shall be long enough to allow for overhanging on each end of at least 10% of the support span, but in no case less than 6.4 mm (1/4 in.) on each end. Overhang shall be sufficient to prevent the specimen from slipping through the supports.

NOTE 4—Whenever possible, the original surface of the sheet shall be unaltered. However, where testing machine limitations make it impossible to follow the above criterion on the unaltered sheet, one or both surfaces shall be machined to provide the desired dimensions, and the location of the specimens with reference to the total depth shall be noted. The value obtained on specimens with machined surfaces may differ from those obtained on specimens with original surfaces. Consequently, any specifications for flexural properties on the thicker sheets must state whether the original surfaces are to be retained or not. When only one surface was machined, it must be stated whether the machined surface was on the tension or compression side of the beam.

NOTE 5—Edgewise tests are not applicable for sheets that are so thin that specimens meeting these requirements cannot be cut. If specimen depth exceeds the width, buckling may occur.

**6.2.2 Materials Less than 1.6 mm (1/16 in.) in Thickness**—The specimen shall be 50.8 mm (2 in.) long by 12.7 mm (1/2 in.) wide, tested flatwise on a 25.4-mm (1-in.) support span.

NOTE 6—Use of the formulas for simple beams cited in these test methods for calculating results presumes that beam width is small in comparison with the support span. Therefore, the formulas do not apply rigorously to these dimensions.

NOTE 7—Where machine sensitivity is such that specimens of these dimensions cannot be measured, wider specimens or shorter support spans, or both, may be used, provided the support span-to-depth ratio is at least 14 to 1. All dimensions must be stated in the report (see also Note 6).

**6.3 Laminated Thermosetting Materials and Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation, Including**

*Unidirectional Fiber and Glass-Bonded Mica*—Test the specimens in accordance with Table 1 for Test Method I, and Table 2 or 3 for Test Method II. For paper-base and fabric-base grades over 25.4 mm (1 in.) in nominal thickness, the specimens shall be machined on both surfaces to a depth of 25.4 mm (1 in.). For glass-base and nylon-base grades, specimens over 12.7 mm (1/2 in.) in nominal depth shall be machined on both surfaces to a depth of 12.7 mm (1/2 in.). The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (Note 8). Three recommended support span-to-depth ratios are 16, 32 and 40 to 1. When laminated materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to 4 times the specimen depth for Test Method I and 1.5 times the specimen depth for Test Method II) to prevent premature damage to the outer fibers.

**6.4 Molding Materials (Thermoplastics and Thermosets)**—The recommended specimen for molding materials is 127 by 12.7 by 3.2 mm (5 by 1/2 by 1/8 in.) tested flatwise on a support span, resulting in a support span-to-depth ratio of 16 (tolerance +4 or -2). Thicker specimens should be avoided if they exhibit significant shrink marks or bubbles when molded.

**6.5 High-Strength Reinforced Composites, Including Highly Orthotropic Laminates**—Specimens shall be tested in accordance with Table 1 for Test Method I, and Table 2 or 3 for Test Method II. The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (Note 8). Three recommended support span-to-depth ratios are 16:1, 32:1, and 40:1. However, for some highly anisotropic composites, shear deformation can significantly influence modulus measurements, even at span-to-depth ratios as high as 40:1. Hence, for these materials, an increase in span-to-depth ratio to 60:1 is recommended to eliminate shear effects when modulus data are required. It should also be noted that the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a strong

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**D 790**

**TABLE 2 Recommended Dimensions for Test Specimens of Sections 6.3 and 6.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 7) Test Method II [4-Point Loading at 1/4 Points, Fig. 2(A)]**

Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Load Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in./min) <sup>a</sup>
<i>L/d = 16 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	51 (2)	25 (1)	8.4 (0.33)	0.7 (0.03)
2.4 (3/8)	25 (1)	64 (2 1/2)	38 (1 1/2)	12.7 (0.50)	1.1 (0.04)
3.2 (1/4)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	17.0 (0.67)	1.5 (0.06)
4.8 (3/8)	13 (1/2)	102 (4)	76 (3)	25.4 (1.00)	2.2 (0.09)
6.4 (1/2)	13 (1/2)	127 (5)	102 (4)	33.8 (1.33)	3.0 (0.11)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	152 (6)	50.8 (2.00)	4.5 (0.18)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	67.8 (2.67)	6.0 (0.24)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	381 (15)	305 (12)	102 (4.00)	9.0 (0.36)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19 1/2)	406 (16)	135 (5.33)	12.0 (0.48)
<i>L/d = 32 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	17.0 (0.67)	3.0 (0.11)
2.4 (3/8)	25 (1)	102 (4)	76 (3)	25.4 (1.00)	4.5 (0.18)
3.2 (1/4)	25 (1)	127 (5)	102 (4)	33.8 (1.33)	6.0 (0.24)
4.8 (3/8)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	165 (6 1/2)	55.1 (2.17)	10.5 (0.41)
6.4 (1/2)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	67.8 (2.67)	11.9 (0.48)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	381 (15)	305 (12)	102 (4)	17.9 (0.71)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	495 (19 1/2)	406 (16)	135 (5.33)	24.1 (0.95)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	717 (28 1/2)	610 (24)	204 (8.0)	36.0 (1.42)
25.4 (1)	25 (1)	991 (39)	813 (32)	271 (10.7)	48.1 (1.89)
<i>L/d = 40 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	86 (3 1/2)	53 (2 1/2)	21.2 (0.83)	4.6 (0.19)
2.4 (3/8)	25 (1)	121 (4 3/4)	85 (3 3/4)	31.8 (1.25)	7.0 (0.27)
3.2 (1/4)	25 (1)	176 (7)	127 (5)	42.4 (1.67)	9.3 (0.37)
4.8 (3/8)	13 (1/2)	241 (9 1/2)	190 (7 1/2)	63.5 (2.50)	13.9 (0.56)
6.4 (1/2)	13 (1/2)	330 (13)	254 (10)	84.6 (3.33)	18.7 (0.74)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	463 (18)	381 (15)	127 (5.0)	28.0 (1.11)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	626 (25)	508 (20)	169 (6.7)	37.6 (1.48)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	940 (37)	762 (30)	254 (10.0)	56.2 (2.22)
25.4 (1)	25 (1)	1245 (49)	1016 (40)	336 (13.3)	75.1 (2.96)
<i>L/d = 60 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	124 (4 3/4)	95 (3 3/4)	31.7 (1 1/4)	10.4 (0.41)
2.4 (3/8)	25 (1)	185 (7 1/2)	143 (5 1/2)	47.6 (1 3/4)	15.8 (0.62)
3.2 (1/4)	25 (1)	247 (9 3/4)	190 (7 1/2)	63.3 (2 1/2)	20.9 (0.82)
4.8 (3/8)	13 (1/2)	372 (14 1/2)	286 (11 1/4)	95.3 (3 3/4)	31.5 (1.24)
6.4 (1/2)	13 (1/2)	495 (19 1/2)	381 (15)	127 (5)	41.9 (1.65)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	744 (29 1/4)	572 (22 1/2)	191 (7 1/2)	63.1 (2.48)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	951 (37 1/2)	762 (30)	254 (10)	84.6 (3.33)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	1486 (58 3/4)	1143 (45)	381 (15)	127 (5.00)
25.4 (1)	25 (1)	1981 (78)	1524 (60)	506 (20)	169 (6.66)

<sup>a</sup> Rates indicated are for Procedure A where strain rate is 0.01 mm/min (0.01 in./min). To obtain rates for Procedure B where strain rate is 0.10 mm/min (0.10 in./min) multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes, unless otherwise stated in the specifications. See 9.2.3 for the method of calculation.

function of ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

Note 8—As a general rule, support span-to-depth ratios of 16 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span.

**7. Number of Test Specimens**

7.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials or molded specimens.

7.2 For each sample of anisotropic material in sheet form, at least five specimens shall be tested for each of the following conditions. Recommended conditions are flatwise and edgewise tests on specimens cut in lengthwise and crosswise directions of the sheet. For purposes of this test,

“lengthwise” shall designate the principal axis of anisotropy and shall be interpreted to mean the direction of the sheet known to be stronger in flexure. “Crosswise” shall be the sheet direction known to be the weaker in flexure, and shall be at 90° to the lengthwise direction.

**8. Conditioning**

8.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at 23 ± 2°C (73.4 ± 3.6°F) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618 for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be ±1°C (±1.8°F) and ±2 % relative humidity.

8.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing “dry as-molded specimens.” Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the speci-





**TABLE 3 Recommended Dimensions for Test Specimens of Sections 6.3 and 6.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 8) Test Method II (4-Point Loading at 1/4 Points, Fig. 2(B))**

Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Load Span, mm (in.)	Rate of Crosshead Motion (Procedure A), mm (in./min) <sup>a</sup>
<i>L/d = 16 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	51 (2)	25 (1)	12.5 (0.50)	0.6 (0.03)
2.4 (3/8)	25 (1)	64 (2 1/2)	38 (1 1/2)	19.0 (0.75)	1.0 (0.04)
3.2 (1/4)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	25.5 (1)	1.3 (0.05)
4.8 (3/16)	13 (1/2)	102 (4)	76 (3)	38 (1.50)	2.0 (0.08)
6.4 (5/16)	13 (1/2)	127 (5)	102 (4)	51 (2)	2.8 (0.11)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	152 (6)	76 (3)	4.1 (0.16)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	102 (4)	5.3 (0.21)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	381 (15)	305 (12)	153 (6)	8.1 (0.32)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19 1/2)	406 (16)	203 (8)	10.9 (0.43)
<i>L/d = 32 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	25.5 (1)	2.8 (0.11)
2.4 (3/8)	25 (1)	102 (4)	76 (3)	38 (1.50)	4.1 (0.16)
3.2 (1/4)	25 (1)	127 (5)	102 (4)	51 (2)	5.3 (0.21)
4.8 (3/16)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	165 (6 1/2)	82.5 (3.25)	8.1 (0.32)
6.4 (5/16)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	102 (4)	10.9 (0.43)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	381 (15)	305 (12)	153 (6)	16.3 (0.64)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	495 (19 1/2)	406 (16)	203 (8)	21.6 (0.85)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	737 (29)	610 (24)	305 (12)	32.5 (1.28)
25.4 (1)	25 (1)	991 (39)	813 (32)	407 (16)	43.4 (1.71)
<i>L/d = 40 to 1</i>					
1.6 (5/16)	25 (1)	89 (3 1/2)	63 (2 1/2)	31.5 (1.25)	4.3 (0.17)
2.4 (3/8)	25 (1)	121 (4 1/2)	95 (3 1/2)	47.5 (1.88)	6.4 (0.25)
3.2 (1/4)	25 (1)	153 (6)	127 (5)	63.5 (2.50)	8.4 (0.33)
4.8 (3/16)	13 (1/2)	241 (9 1/2)	190 (7 1/2)	95.0 (3.75)	12.7 (0.50)
6.4 (5/16)	13 (1/2)	329 (13)	254 (10)	127 (5.0)	17.0 (0.67)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	463 (18)	381 (15)	191 (7.5)	25.4 (1.00)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	625 (25)	508 (20)	254 (10.0)	34.0 (1.34)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	947 (37)	762 (30)	381 (15.0)	50.8 (2.00)
25.4 (1)	25 (1)	1245 (49)	1016 (40)	508 (20.0)	67.8 (2.67)
<i>L/d = 60 to 1</i>					
1.6 (5/16)	13 (1/2)	124 (4 1/2)	95 (3 1/2)	47.5 (1 1/2)	9.4 (0.37)
2.4 (3/8)	25 (1)	165 (7 1/2)	143 (5 1/2)	71.5 (2 3/4)	14.2 (0.56)
3.2 (1/4)	25 (1)	247 (9 1/2)	190 (7 1/2)	95.0 (3 1/2)	18.8 (0.74)
4.8 (3/16)	13 (1/2)	372 (14 1/2)	286 (11 1/2)	143 (5 1/2)	28.4 (1.12)
6.4 (5/16)	13 (1/2)	495 (19 1/2)	381 (15)	191 (7 1/2)	37.8 (1.49)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	744 (29 1/2)	572 (22 1/2)	286 (11 1/2)	56.8 (2.24)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	991 (39)	762 (30)	381 (15)	78.2 (3.00)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	1456 (58 1/2)	1143 (45)	572 (22.5)	114 (4.49)
25.4 (1)	25 (1)	1981 (78)	1524 (60)	762 (30)	152 (5.98)

<sup>a</sup> Rates indicated are for Procedure A where strain rate is 0.01 mm/mm·min (0.01 in./in.·min). To obtain rates for Procedure B where strain rate is 0.10 mm/mm·min (0.10 in./in.·min), multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes, unless otherwise stated in the specifications. See 9.2.3 for the method of calculation.

mens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

8.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the Standard Laboratory Atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified in the test methods or in this specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

## 9. Procedure

### 9.1 Test Method I—Procedure A

9.1.1 Use an untested specimen for each measurement. Measure the width and depth of the specimen to the nearest 0.03 mm (0.001 in.) at the center of the support span. For specimens less than 2.54 mm (0.100 in.) in depth, measure the depth to the nearest 0.003 mm (0.0001 in.)

9.1.2 Determine the support span to be used as described

in Section 6 and set the support span to within 1% of the determined value.

9.1.3 If Table 1 is used, set the machine to the specified rate of crosshead motion, or as near as possible to it. If Table 1 is not used, calculate the rate of crosshead motion as follows and set the machine for the calculated rate, or as near as possible to it:

$$R = 2L^2/bd \quad (1)$$

where:

$R$  = rate of crosshead motion, mm (in.)/min.

$L$  = support span, mm (in.),

$d$  = depth of beam, mm (in.), and

$Z$  = rate of straining of the outer fiber, mm/mm·min (in./in.·min).  $Z$  shall equal 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that specified by Table 1, or that calculated from Eq. 1, by more than  $\pm 50\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## D 790

9.1.4 Align the loading nose and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel and the loading nose is midway between the supports. The parallelism may be checked by means of a plate with parallel grooves into which the loading nose and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading nose and supports.

9.1.5 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and take simultaneous load-deflection data. Measure deflection either by a gage under the specimen in contact with it at the center of the support span, the gage being mounted stationary relative to the specimen supports, or by measurement of the motion of the loading nose relative to the supports. In either case, make appropriate corrections for indentation in the specimens and deflections in the weighing system of the machine. Load-deflection curves may be plotted to determine the flexural yield strength, secant or tangent modulus of elasticity, and the total work measured by the area under the load-deflection curve.

9.1.6 Terminate the test if the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.) (Notes 9 and 10). The deflection at which this strain occurs may be calculated by letting  $r$  equal 0.05 mm/mm (in./in.) as follows:

$$D = rL^2/6d \quad (2)$$

where:

$D$  = midspan deflection, mm (in.),  
 $r$  = strain, mm/mm (in./in.),  
 $L$  = support span, mm (in.), and  
 $d$  = depth of beam, mm (in.).

NOTE 9—For some materials the increase in strain rate provided under Procedure B may induce the specimen to yield or rupture, or both, within the required 5% strain limit.

NOTE 10—Beyond 5% strain, these test methods are not applicable, and some other property might be measured (for example, Test Method D 638 may be considered).

#### 9.2 Test Method II—Procedure A

9.2.1 See 9.1.1.

9.2.2 See 9.1.2.

9.2.3 If Table 2 or 3 is used, set the machine as close as possible to the specified rate of crosshead motion. If Table 2 or 3 is not used, calculate the rate of crosshead motion as follows, and set the machine as near as possible to that calculated rate for a load span of one-third of the support span:

$$R = 0.185ZL^2/d \quad (1a)$$

For a load span of one-half of the support span:

$$R = 0.167ZL^2/d \quad (1b)$$

where:

$R$  = rate of crosshead motion, mm (in.)/min,  
 $L$  = support span, mm (in.),  
 $d$  = depth of beam, mm (in.), and  
 $Z$  = rate of straining of the outer fibers, mm/mm (in./in.)/min.  $Z$  shall equal 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that specified by Table 2 or 3, or that calculated from Eq 1a or 1b, by more than  $\pm 50\%$ .

9.2.4 Align the loading noses and supports so that the axes

of the cylindrical surfaces are parallel and the load span is either one-third or one-half of the support span. This parallelism may be checked by means of a plate containing parallel grooves into which the loading noses and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. The loading nose assembly shall be of the type which will not rotate.

9.2.5 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and take simultaneous load-deflection data. Measure deflection by a gage under the specimen in contact with it at the common center of the spans, the gage being mounted stationary relative to the specimen supports. Make appropriate corrections for indentation in the specimens and deflections in the weighing system of the machine. Load-deflection curves may be plotted to determine the flexural yield strength, secant or tangent modulus of elasticity, and the total work measured by the area under the load-deflection curve.

9.2.6 If no break has occurred in a specimen by the time the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.), discontinue the test (Notes 9 and 10). The deflection at which this strain occurs may be calculated by letting  $r$  equal 0.05 mm/mm (in./in.) as follows for a load span of one-third of the support span:

$$D = 0.21rL^2/d \quad (2a)$$

For a load span of one-half of the support span:

$$D = 0.23rL^2/d \quad (2b)$$

where:

$D$  = midspan deflection, mm (in.),  
 $r$  = strain, mm per mm (in. per in.),  
 $L$  = support span, mm (in.), and  
 $d$  = depth of beam, mm (in.).

#### 9.3 Test Methods I and II, Procedure B

9.3.1 Use an untested specimen for each measurement.

9.3.2 Test conditions shall be identical to those described in 9.1 or 9.2, except that the rate of straining of the outer fibers shall be 0.10 mm/mm (in./in.)/min.

9.3.3 If no break has occurred in the specimen by the time the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.), discontinue the test (Note 10).

#### 10. Retests

10.1 Values for properties at rupture shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Retests shall be made for any specimen on which values are not calculated.

#### 11. Calculation

11.1 *Maximum Fiber Stress, Test Method I*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a simple beam supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress in the outer fibers occurs at midspan. This stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Notes 11 and 12):

$$S = 3PL/2bd^2 \quad (3)$$

where:

## D 790

$S$  = stress in the outer fibers at midspan,  $N/m^2$  (psi),  
 $P$  = load at a given point on the load-deflection curve,  $N$   
 (lbf).

$L$  = support span,  $m$  (in.),  
 $b$  = width of beam tested,  $m$  (in.), and  
 $d$  = depth of beam tested,  $m$  (in.).

NOTE 11—Eq 3 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will, however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 5% for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum stress may not occur in the outer fibers for a highly orthotropic laminate.<sup>6</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 3 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for highly orthotropic laminates.

NOTE 12—The above calculation is not valid if the specimen is slipping excessively between the supports.

11.2 *Maximum Fiber Stress for Beams Tested at Large Support Spans, Test Method I*—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used such that deflections in excess of 10% of the support span occur, the maximum stress for a simple beam can be reasonably approximated with the following equation (Note 13):

$$S = (3PL/2bd^2) \cdot [1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \quad (3a)$$

where  $S$ ,  $P$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $d$  are the same as for Eq 3 and  $D$  is the deflection in  $m$  (in.) of the centerline of the specimen at the middle of the support span.

NOTE 13—When large support span to depth ratios are used, significant end forces are developed at the supports which affect the moment in a simply supported beam. An approximate correction factor is given in Eq 3a to correct for these end forces in large support span-to-depth ratio beams where relatively large deflections exist.

11.3 *Maximum Fiber Stress, Test Method II*—When a beam is loaded in flexure at two central points and supported at two outer points, the maximum stress in the outer fibers occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). This stress may be calculated for any point on the load-deflection curve for relatively small deflections by the following equation for a load span of one-third of the support span (Note 14):

$$S = PL/bd^2 \quad (3b)$$

For a load span of one-half of the support span:

$$S = 3PL/4bd^2 \quad (3c)$$

where:

$S$  = stress in the outer fiber throughout the load span,  
 $N/m^2$  (psi),  
 $P$  = load at a given point on the load-deflection curve,  $N$   
 (lbf),  
 $L$  = support span,  $m$  (in.),  
 $b$  = width of beam,  $m$  (in.), and  
 $d$  = depth of beam,  $m$  (in.).

NOTE 14—The limitations defined for Eq 3 in Notes 11 and 12 apply also to Eqs 3a, 3b, 3c, 3d, and 3e.

11.4 *Maximum Fiber Stress, Test Method II, for Beams Tested at Large Support Spans*—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used with resultant deflections in excess of 10% of the support span occurring, the maximum stress may be reasonably approximated with the following formula for a load span of one-third of the support span:

$$S = (PL/bd^2) \cdot [1 + (4.70D^2/L^2) - (7.04Dd/L^2)] \quad (3d)$$

For a load span of one-half of the support span:

$$S = (3PL/4bd^2) \cdot [1 + (10.91Dd/L^2)] \quad (3e)$$

where  $S$ ,  $P$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $d$  are the same as for Eq 3b and  $D$  = maximum deflection of the center of the beam in  $m$  (in.).

11.5 *Flexural Strength (Modulus of Rupture)*—The flexural strength is equal to the maximum stress in the outer fibers at the moment of break (for highly orthotropic laminates, see Note 11). It is calculated in accordance with Eqs 3, 3a, 3b, 3c, 3d, and 3e by letting  $P$  equal the load at the moment of break. If the material does not break, this part of the test is not applicable. In this case, it is suggested that yield strength, if applicable, be calculated and that the corresponding strain be reported also (see 11.6, 11.8, and 11.9).

11.6 *Flexural Yield Strength*—Some materials that do not break at outer fiber strains up to 5% may give load-deflection curves that show a point,  $Y$ , at which the load does not increase with an increase in deflection. In such cases, the flexural yield strength may be calculated in accordance with Eqs 3, 3a, 3b, or 3c by letting  $P$  equal the load at point  $Y$ .

11.7 *Flexural Offset Yield Strength*—Offset yield strength is the stress at which the stress-strain curve deviates by a given strain (offset) from the tangent to the initial straight line portion of the stress-strain curve. The value of the offset must be given whenever this property is calculated.

NOTE 15—This value may differ from flexural yield strength defined in 11.6. Both methods of calculation are described in the Annex to Test Method D 638.

11.8 *Stress at a Given Strain*—The maximum fiber stress at any given strain may be calculated in accordance with Eqs 3, 3a, 3b, 3c, 3d, and 3e by letting  $P$  equal the load read from the load-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for highly orthotropic laminates, see Note 11).

11.9 *Maximum Strain, Test Method I*—The maximum strain in the outer fibers also occurs at midspan, and may be calculated as follows:

$$r = 6Dd/L^2 \quad (4)$$

where:

$r$  = maximum strain in the outer fibers,  $mm/mm$  (in./in.),  
 $D$  = maximum deflection of the center of the beam,  $mm$   
 (in.),  
 $L$  = support span,  $mm$  (in.), and  
 $d$  = depth,  $mm$  (in.).

11.10 *Maximum Strain, Test Method II*—The maximum strain in the outer fibers also occurs at midspan, and may be calculated as follows for a load span of one-third of the support span:

$$r = 4.70Dd/L^2 \quad (4a)$$

<sup>6</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. L., and Marr, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 10-45.

 D 790

For load span of one-half of the support span:

$$r = 4.36Dd/L^2 \quad (4b)$$

where  $D$ ,  $d$ ,  $L$ , and  $r$  are the same as for Eq 2a.

#### 11.11 Modulus of Elasticity:

11.11.1 *Tangent Modulus of Elasticity, Test Method I*—The tangent modulus of elasticity, often called the "modulus of elasticity," is the ratio, within the elastic limit, of stress to corresponding strain and shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 5 (for highly anisotropic composites, see Note 16).

$$E_m = L^3 m / 4bd^3 \quad (5)$$

where:

$E_m$  = modulus of elasticity in bending, N/m<sup>2</sup> (psi).

$L$  = support span, m (in.).

$b$  = width of beam tested, m (in.).

$d$  = depth of beam tested, m (in.), and

$m$  = slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/m (lbf/in.) of deflection.

NOTE 16—Shear deflections can seriously reduce the apparent modulus of highly anisotropic composites when they are tested at low span-to-depth ratios. For this reason, a span-to-depth ratio of 60 to 1 is recommended for flexural modulus determinations. Flexural strength should be determined on a separate set of replicate specimens at a lower span-to-depth ratio that induces tensile failures in the outer fibers of the beam along its lower face. Since the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a critical function of ply-stacking sequence, it will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

11.11.2 *Tangent Modulus of Elasticity, Test Method II*—The tangent modulus of elasticity is the ratio, within the elastic limit, of stress to corresponding strain and shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 5a for a load span of one-third the support span, and Eq 5b for a load span of one-half of the support span, as follows:

$$E_m = 0.21L^3 m / bd^3 \quad (5a)$$

$$E_m = 0.17L^3 m / bd^3 \quad (5b)$$

where  $E_m$ ,  $m$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $d$  are the same as for Eq 5 (for highly anisotropic composites, see Note 16).

11.11.3 *Secant Modulus of Elasticity*—The secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve, or the slope of the straight line that joins the origin and a selected point on the actual stress-strain curve. It shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). The selected point is generally chosen at a specified stress or strain. It is calculated in accordance with Eq 5 or 5a by letting  $m$  equal the slope of the secant to the load-deflection curve.

11.12 *Arithmetic Mean*—For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to

three significant figures and reported as the "average value" for the particular property in question.

11.13 *Standard Deviation*—The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and reported in two significant figures:

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - n\bar{X}^2}{n - 1}}$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,

$X$  = value of single observation,

$n$  = number of observations, and

$\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

11.14 See Appendix X1 for information on toe compensation.

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, and previous history. For laminated materials, ply-stacking sequence shall be reported.

12.1.2 Direction of cutting and loading specimens.

12.1.3 Conditioning procedure.

12.1.4 Depth and width of specimen.

12.1.5 Method used.

12.1.6 Procedure used.

12.1.7 Support span length.

12.1.8 Support span-to-depth ratio.

12.1.9 Radius of supports and loading noses.

12.1.10 Rate of crosshead motion.

12.1.11 Maximum strain in the outer fibers of the specimen.

12.1.12 Flexural strength (if applicable), average value, and standard deviation.

12.1.13 Tangent or secant modulus of elasticity in bending, average value, standard deviation, and the strain level used if secant modulus.

12.1.14 Flexural yield strength (if desired), average value, and standard deviation.

12.1.15 Flexural offset yield strength (if desired), with offset or strain used, average value, and standard deviation.

12.1.16 Stress at any given strain up to and including 5% (if desired), with strain used, average value, and standard deviation.

## 13. Precision and Bias\*

13.1 *Precision*—Tables 4 and 5 are based on round-robin tests conducted in 1984, involving six materials tested by six laboratories. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

13.2 For the materials indicated and for test results that are averages from testing five specimens, see Tables 4 and 5.

13.2.1 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the 1, value

\* For a discussion of these effects, see Zweben, C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials, Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

\* Supporting data are available from ASTM Headquarters Request RR-D20-1128.

## D 790

TABLE 4 Flexural Strength

NOTE 1— $V_L$  is the within-laboratory coefficient of variation of the average and  $I_L = 2.83 V_L$ . (See 13.3 for application of  $I_L$ .)  
NOTE 2— $V_M$  is the total between-laboratory coefficient of variation of the average and  $I_M = 2.83 V_M$ . (See 13.4 for application of  $I_M$ .)

Material	Mean (10 <sup>3</sup> psi)	Values as a Percent of the Mean			
		$V_L$	$V_M$	$I_L$	$I_M$
ABS	9.99	1.59	6.05	4.44	17.2
DAP thermoset	14.3	6.58	6.58	18.6	18.6
Cast acrylic	16.3	1.67	11.3	4.73	32.0
GR polyester	19.5	1.43	2.14	4.05	6.08
GR polycarbonate	21.0	5.16	6.05	14.6	17.1
SMC	26.0	4.76	7.19	13.5	20.4
average (RMS)		4.08	7.08	11.5	20.0

for that material and condition.

13.2.2 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_R$  value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.2.3 The judgments in 13.3 and 13.4 will have an

TABLE 5 Flexural Modulus

Material	Mean (10 <sup>3</sup> psi)	Values as a Percent of the Mean			
		$V_L$	$V_M$	$I_L$	$I_M$
ABS	338	4.79	7.69	13.6	21.8
Cast acrylic	485	2.89	7.18	8.15	20.4
GR polycarbonate	810	13.7	16.1	36.8	45.4
GR polyester	816	3.49	4.20	9.91	11.9
DAP thermoset	1790	5.52	5.52	15.8	15.8
SMC	1950	10.9	13.8	30.8	39.1
average (RMS)		7.96	10.1	22.5	28.5

approximately 95 % (0.95) probability of being correct.

13.2.4 Other formulations may give somewhat different results.

13.3 For further information on the methodology used in this section, see Practice E 691.

13.4 *Bias*—No statement may be made about the bias of these test methods, as there is no standard reference material or reference test method that is applicable.

#### 14. Keywords

14.1 flexural properties; plastics; stiffness; strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้