บทที่ 3

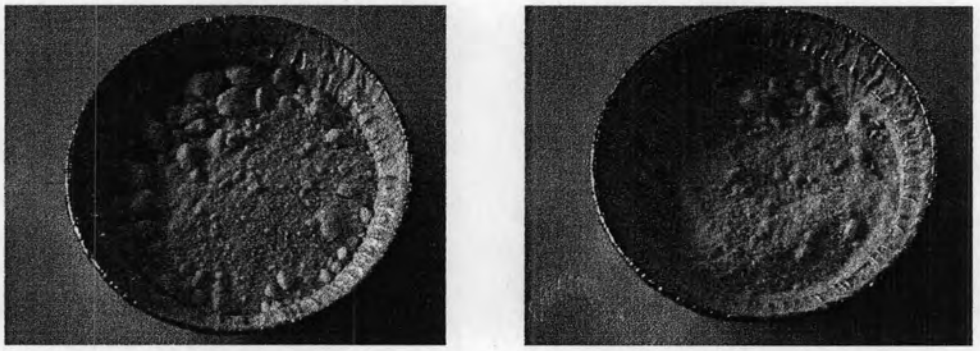
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบในกรผลิตผ้าเบรก

3.1.1 ผงยางไนไตรล์บิวตะไดอีน (Nitrile butadiene rubber powder)

i. ผงยางอนุภาคขนาดนาโน มีขนาดเฉลี่ย 100 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก)

ii. ผงยางอนุภาคขนาดไมโคร มีขนาดเฉลี่ย 120 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข)



(ก) ผงยาง NBR ขนาดอนุภาคระดับไมโคร (ข) ผงยาง NBR ขนาดอนุภาคระดับนาโน

รูปที่ 3.1 ผงยางไนไตรล์บิวตะไดอีน

3.1.2 สารเติมแต่งและองค์ประกอบอื่นๆ

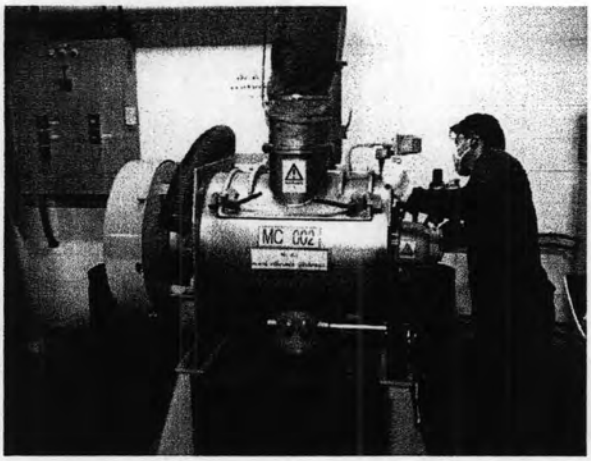
- Antimony
- Aramid fiber
- Barium sulphate
- Calcium hydroxide

- Carbon black
- Copper powder
- Friction dust (Cashew nut shell)
- Potassium titanate
- Rock wool
- Steel fiber
- Syn. Graphite
- Zirconium silicate

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบผ้าเบรก

3.2.1 การผสมองค์ประกอบต่างๆ ของผ้าเบรก

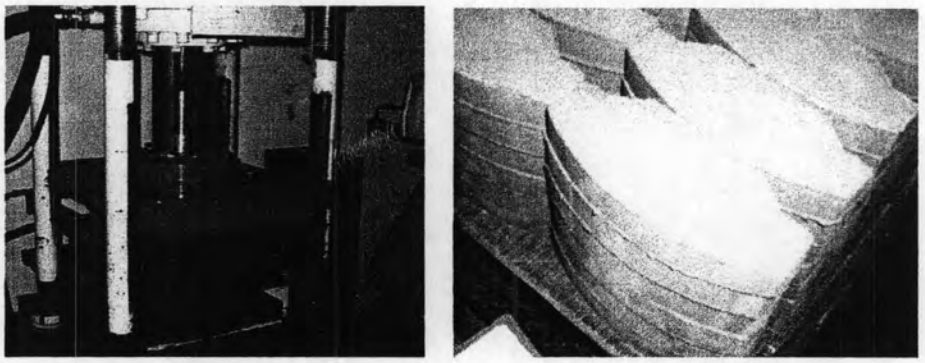
นำผงยาง NBR องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย ได้แก่ aramid fiber, steel fiber และสารตัวเติม ได้แก่ แบเรียมซัลเฟต (barium sulphate) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate), โพแทสเซียม ไททาเนต (potassium titanate) ลงในหม้อผสมโดยความเร็วใบตีที่ 6000 rpm และความเร็วใบกวน ที่ 300 rpm นาน 2 นาที จากนั้นจึงเติมสารจำพวกสารเติมแต่งลงไปและผสมองค์ประกอบต่างๆ อีก ครั้ง โดยใช้อัตราความเร็วใบกวนที่ 3000 rpm และความเร็วใบตีที่ 100 rpm นาน 6 นาที ดังแสดงใน รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การผสมองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง

3.2.2 การอัดขึ้นรูปเย็น

นำส่วนผสมต่างๆ ที่ผสมเสร็จแล้วจากข้อ 3.2.1 มาทำการอัดขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปเย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้แรงดัน 200kg/cm^2 จะได้ชิ้นงาน preform ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การขึ้นรูปเย็น

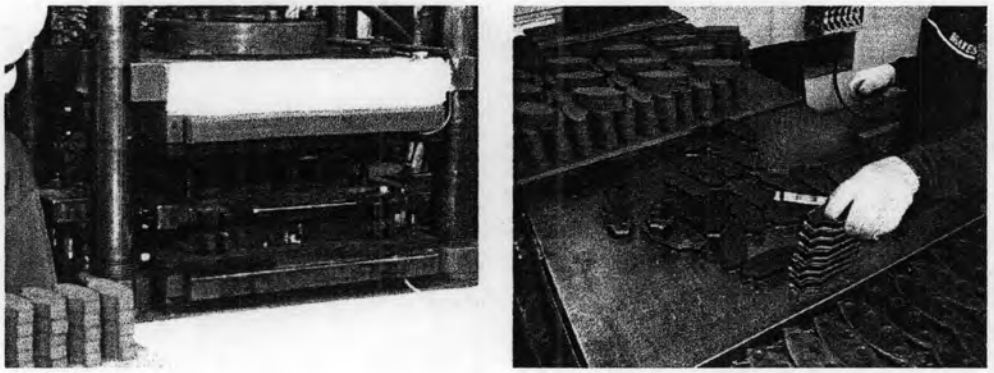
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 การอัดขึ้นรูปร้อน

นำชิ้นงาน preform ที่ได้จากการขึ้นรูปเย็นทำการอัดขึ้นรูปร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในองค์ประกอบ โดยใช้อุณหภูมิ 155°C แรงดัน 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยแบ่งการอัดขึ้นรูปเป็น 2 รอบ ดังนี้

รอบที่ 1 อัด 3 วินาที ปล่อย 7 วินาที โดยทำการอัด 10-12 ครั้ง รวมเป็นเวลา 2 นาที

รอบที่ 2 อัด 7 นาที



รูปที่ 3.4 การขึ้นรูปร้อน

3.2.4 การบ่ม

นำชิ้นงานผ้าเบรกที่ขึ้นรูปแล้วมาทำการบ่ม ในตู้อบดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยแบ่งเป็น pre cure ที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย post cure ที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

รูปที่ 3.5 การบ่มชิ้นงานในตู้อบ

3.2.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจากผ้าเบรก

นำชิ้นงานผ้าเบรกมาทำการตัดให้ได้ขนาดต่างๆ ตามขนาดที่ใช้ในการทดสอบดังตารางที่ 3.1 และใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 800-1000 ขัดแต่งชิ้นงานให้เรียบและได้ขนาด นอกจากนี้การขัดผิวหน้าชิ้นงานยังเป็นการทำความสะอาดผิวของชิ้นงานทดสอบด้วย

ตารางที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดสอบ

Testing	Sample Dimension	No. of repeat	Machine	Document control
Coefficient of friction and ware rate	25 x 25 x 5 mm	5 x 2	constant speed brake lining tester (Tokyo plan, Model HP-SALC 11264)	JIS D4411
Hardness	Brake pad	5	Rockwell hardness (Mitutoyo HR-500 ver. 2.6)	JIS D4421
Specific gravity	25 x 25 x 10 mm	5	Water baht, beaker, weight balance	JIS D4417
Porosity	25 x 25 x 5 mm	5	Water baht, beaker, weight balance	JIS D4418
Shear strength	20 x 20 x 10 mm	5	Universal Testing Machine (Narin Instrument, Model NRI TS501-100)	JIS D4415
Impact strength	10.16 x 63.50 x 12.70 mm	5	Impact tester (Yasuda 258PC)	ASTM D256
Flexural strength	127 x 12.70 x 3.18 mm	5	Universal Testing Machine (Narin Instrument, Model NRI TS501-100)	ASTM D790
TGA	powder	5	Thermogravimetric analysis instrument (TA Instrument, model SDT 2600)	n/a

3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

3.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และการทดสอบอัตราการสึก (Coefficient of friction testing and ware rate testing)

ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาดขนาด 25 x 25 x 5 มิลลิเมตร มาทดสอบด้วยเครื่อง constant speed brake lining tester (Tokyo plan, Model HP-SALC 11264) ดังรูปที่ 3.6 (ก) โดยใช้ชิ้นผ้าเบรก 2 ชิ้นต่อการทดสอบ 1 ครั้งวางบนจานในทิศทางตรงกันข้ามดังแสดงในรูป 3.6 (ข) ทำการทดสอบจนกระทั่งชิ้นผ้าเบรกมีค่า friction surface contact ที่ 95% โดยใช้ความเร็วของจานหมุนที่ 6 เมตร/วินาที หมุนจานทดสอบจำนวน 5,000 รอบ ที่อุณหภูมิ 100°C การวัดแรงเสียดทานจะทำการวัดที่ 10 ถึง 20 ส่วนของรอบการหมุนทั้งหมด โดยวัดทุกๆ รอบที่ 250 ถึง 500 เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นนำชิ้นผ้าเดบรกออกมาทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องแล้วจึงทำการวัดความหนาของชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์ จากนั้นทำการทดสอบชิ้นผ้าเบรกชิ้นเดิมต่อไปโดยใช้อุณหภูมิที่ 150°C, 200°C, 250°C, 300°C จนถึง 350°C ตามวิธีการข้างต้น เมื่อทำการทดสอบจนถึงอุณหภูมิที่ 350°C เสร็จสิ้นแล้วทำการทดสอบช่วงอุณหภูมิขาลงโดยใช้หมุนจานทดสอบเป็นจำนวน 1,500 รอบ ที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที โดยทดสอบที่อุณหภูมิขาลง 350°C, 300°C, 250°C, 200°C, 150°C จนถึง 100°C โดยทำการวัดแรงเสียดทานที่รอบจานหมุนของจานทุกๆ 500 รอบ ตามมาตรฐาน JIS D4411 จากนั้นนำค่าที่อ่านได้จากกราฟและความหนาของชิ้นผ้าเบรกมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึก ตามสมการ (1) และ (2)

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน} = AVSFF(N)/1225.8\ (N) \qquad (1)$$

$$\text{อัตราการสึก} = 1.06 \times (A/n) \times ((d1-d2)/AFF) \times 10^{-3}\ (\text{cm}^3/\text{Nm}) \qquad (2)$$

โดย

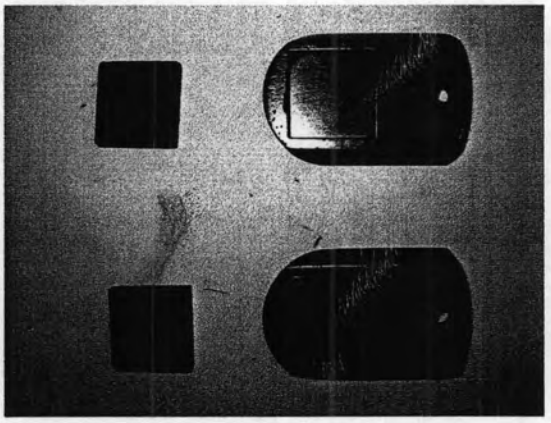
AVSFF = แรงเสียดทานเฉลี่ยของข้อมูลที่เสถียรในครึ่งหลังของช่วงอุณหภูมิ (N)
(Average value of stabilized friction force in the later half of total friction distance)

AFF = แรงเสียดทานเฉลี่ยทั่วทั้งช่วงอุณหภูมิ (N)
(Average friction force of total friction distance)

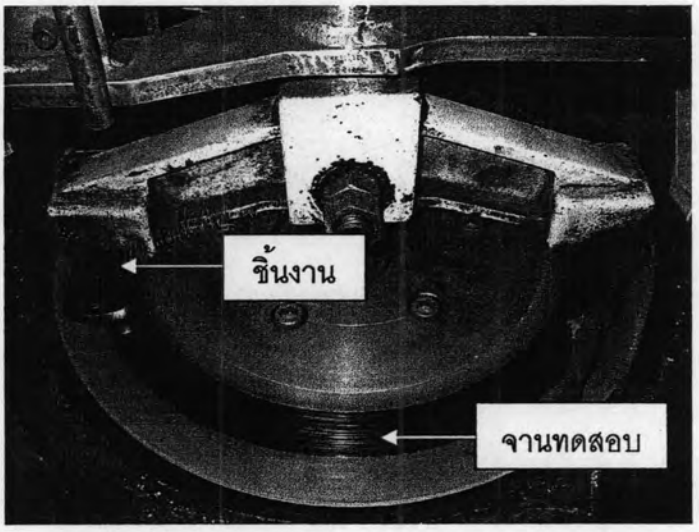
A = พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานรวม = 1250 mm^2

n = จำนวนรอบการหมุนของจานขาขึ้น = 5000 รอบ

d1-d2 = การสึกเฉลี่ย (mm)



(ก)



(ข)

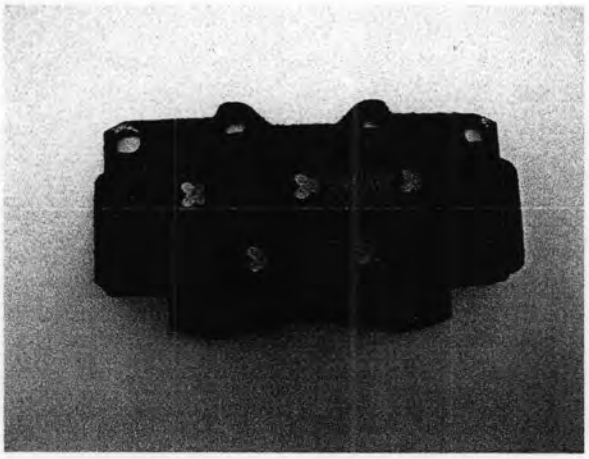
รูปที่ 3.6 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

(ก) ชิ้นงานทดสอบและ jig สำหรับยึดชิ้นงาน

(ข) ชิ้นงานทดสอบบนจาน เครื่องทดสอบ

3.3.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness testing)

นำชิ้นผ้าเบรกอบที่อุณหภูมิ 150 ± 5°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบใส่ไว้ในโถอบ (desicator) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือตั้งทิ้งไว้จนชิ้นงานทดสอบเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell hardness (Mitutoyo HR-500 ver. 2.6) จำนวน 5 ตำแหน่ง โดยแบ่งระยะห่างแต่ละจุดเท่าๆ กัน และให้ทั่วชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS D4421 ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งบนชิ้นงานทดสอบ

3.3.3 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity testing)

ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาด 25 x 25 x 10 มิลลิเมตร นำชิ้นผ้าเบรกอบที่อุณหภูมิ 150 ± 5°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใส่ไว้ในโถอบ (Desicator) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือตั้งทิ้งไว้จนชิ้นงานทดสอบเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง นำชิ้นผ้าเบรกมาชั่งน้ำหนักในอากาศด้วยเครื่องชั่งละเอียด จากนั้นนำชิ้นผ้าเบรกชิ้นเดิมมาชั่งน้ำหนักในน้ำ โดยการถ่วงชิ้นงานลงในอ่างน้ำ จากนั้นน้ำหนักของชิ้นผ้าเบรกในอากาศและในน้ำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐานการทดสอบ JIS D4417 ตามสามการ (3)

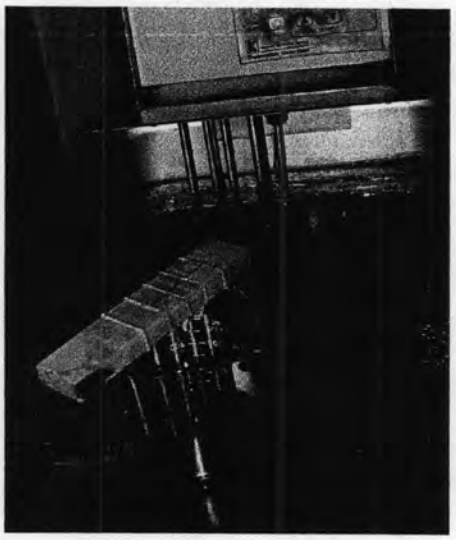
$$\text{ความถ่วงจำเพาะ}(d) = m_1/(m_1 - m_2) \qquad (3)$$

โดย m_1 = น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในอากาศ (g)

m_2 = น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ (g)

3.3.4 การทดสอบความพรุน (Porosity testing)

ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาด 25 x 25 x 5 มิลลิเมตร นำชิ้นผ้าเบรกทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D4418 โดยขัดเศษผงบริเวณพื้นผิวโดยใช้กระดาษทรายขัดโลหะเบอร์ 320 นำชิ้นผ้าเบรกอบที่อุณหภูมิ 150 ± 5°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใส่ไว้ในโถอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือตั้งทิ้งไว้จนชิ้นผ้าเบรกเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง วัดขนาดความยาว, ความกว้างและความหนาของชิ้นผ้าเบรก คำนวณหาปริมาตร จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นผ้าเบรก จากนั้นนำชิ้นผ้าเบรกดังกล่าวไปแช่ในน้ำมันที่แช่อยู่ในอ่างน้ำร้อน (water bath) นาน 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 ± 10°C ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เมื่อครบกำหนดเวลานำชิ้นผ้าเบรกออกจากน้ำมันและทิ้งไว้ให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง เช็ดน้ำมันออกจากชิ้นผ้าเบรก ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน นำค่าที่ได้ทั้งหมดคำนวณหาค่าความพรุน ตามสมการ (4)



รูปที่ 3.8 การทดสอบความพรุน แสดงการแช่ชิ้นงานทดสอบในน้ำมันซึ่งควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำร้อน

$$\text{ความพรุน } (p) = (m_2 - m_1)/\rho \, x \, (1/V) \, x \, 100 \qquad (4)$$

โดย

m_1 = น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำมัน (g)

m_2 = น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่น้ำมัน (g)

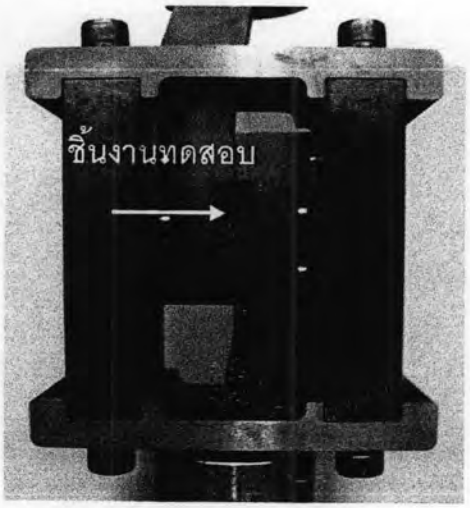
ρ = ความหนาแน่นของน้ำมัน (g/cm^3)

V = ปริมาตรของชิ้นงานทดสอบ (cm^3)

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.1 การทดสอบการต้านแรงเฉือน (Shear strength testing)

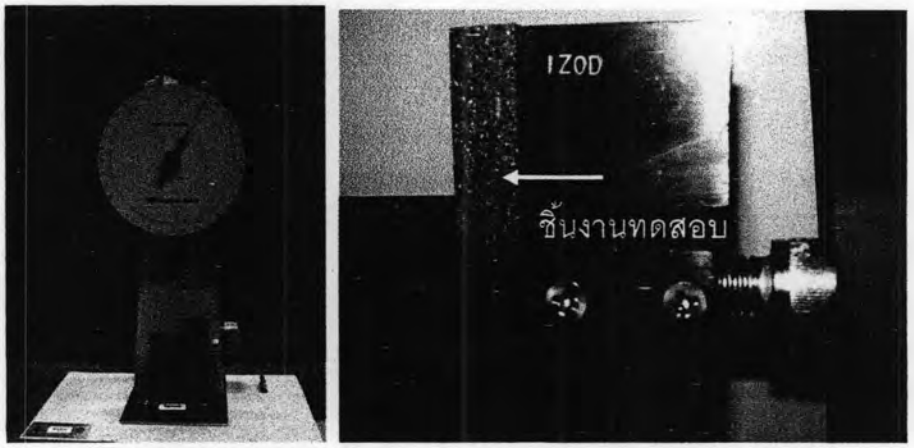
ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาด 20 x 20 x 10 มิลลิเมตร นำชิ้นผ้าเบรกใส่ลงใน shearing jig ที่ใช้สำหรับทดสอบ จากนั้นนำ shearing jig ไปประกอบเข้ากับเครื่อง Universal Testing Machine (Narin Instrument, Model NRI TS501-100) ดังแสดงในรูป 3.9 โดยมีอัตรา load ที่ใช้ในการทดสอบคงที่ที่ 4,500 N/s โดยมีความเร็วของการเคลื่อนที่ของ cross head ที่ 0.5 mm./min. ตามมาตรฐานการทดสอบ JIS D4415



รูปที่ 3.9 การทดสอบการต้านแรงเฉือน

3.4.2 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact testing)

ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาด 10.16 x 63.50 x 12.70 มิลลิเมตร นำชิ้นผ้าเบรกทำการบากด้วยเครื่อง Notching machine เป็นมุม 45 องศา ลึก 0.25 mm. นำชิ้นงานที่เตรียมแล้วมาทดสอบการทนต่อแรงกระแทก โดยใช้เครื่อง Impact tester (Yasuda 258PC) ขนาดลูกตุ้ม 60 N ตามวิธีทดสอบที่กำหนดใน ASTM D 256 ทำการทดสอบ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบทดสอบจนกระทั่งชิ้นงานแตกหัก ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ก) แสดงเครื่อง Impact tester ที่ใช้ทดสอบ และ รูปที่ 3.10 (ข) แสดงลักษณะชิ้นงานและการวางชิ้นผ้าเบรกทดสอบ

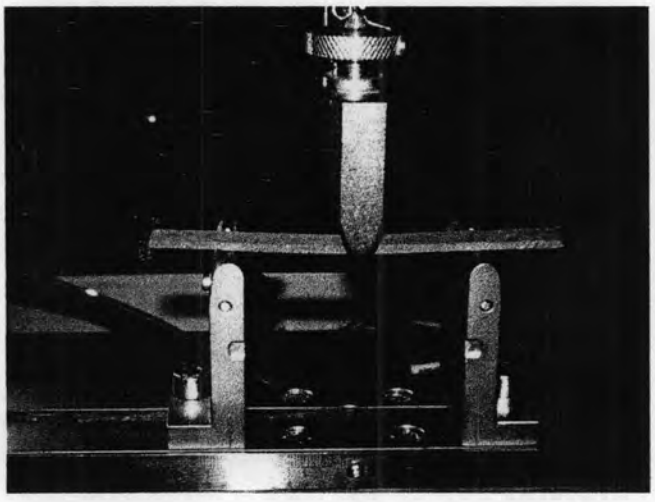


(ก) (ข)

รูปที่ 3.10 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก
(ก) Yasuda 258PC เครื่อง Impact tester
(ข) การวางชิ้นงานทดสอบ

3.4.3 การทดสอบการทนต่อการดัดโค้ง (Flexural strength testing)

ตัดชิ้นผ้าเบรกให้มีขนาด 127 x 12.70 x 3.18 มิลลิเมตร นำชิ้นผ้าเบรกที่เตรียมแล้วมาทดสอบการทนต่อการดัดโค้งโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON Model 5567) ขนาด Load cell 1 kN ตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 790 ทดสอบ ณ อุณหภูมิห้อง โดยความเร็วของ cross head 1.2 mm./min. ทดสอบ 5 ตัวอย่าง ทดสอบจนเครื่องหยุดที่ load 90 % โดยชิ้นงานจะโค้งแต่ไม่หัก การทดสอบการดัดโค้งแบบ 3-point bending แสดงดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การทดสอบการทนต่อการดัดโค้งแบบ 3 จุด

3.5 การศึกษาการเสื่อมสลายเมื่อร้อนโดยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA)

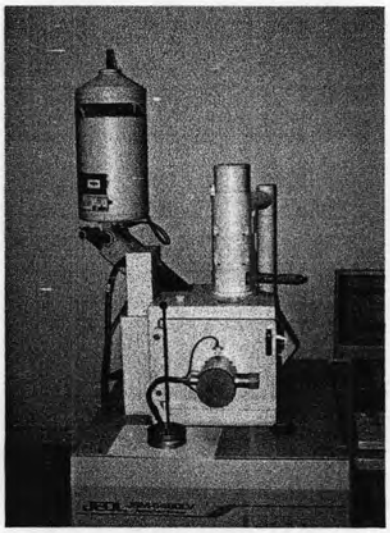
นำผ้าเบรกสูตรต่างๆ ที่ต้องการทดสอบมาทำการบดให้ละเอียดจนเป็นผงด้วยเครื่องบดหรือครกบด จากนั้นนำผงผ้าเบรกที่บดละเอียดแล้ว นำไปวางในถ้วยใส่สาร ในห้องสารตัวอย่างของเครื่อง TGA ดังแสดงในรูป 3.12 และสำหรับถ้วยใส่สารอ้างอิงปล่อยว่างไว้โดยไม่ต้องใส่อะไรทั้งสิ้น จากนั้นกดปุ่มเดินเครื่องเพื่อทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 40 - 1000°C ในบรรยากาศ ที่ heat rate 10°C/min. จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบจึงนำตัวอย่างต่อไปมาทำการทดสอบจนครบทุกตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ

รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบการเสื่อมสลายโดยเทคนิค TGA

(TA Instrument, model SDT 2600)

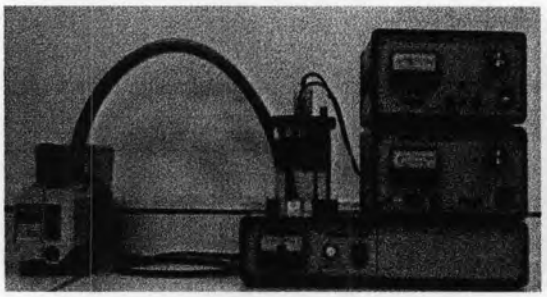
3.6 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

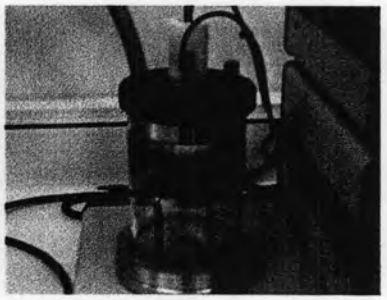
การศึกษาการกระจายตัวของผงยาง NBR ในระดับจุลภาคกระทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM: JEOL model 6480LV) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยนำชิ้นตัวอย่างทดสอบแช่ในไนโตรเจนเหลว 10 นาที แล้วทำชิ้นตัวอย่างทดสอบให้แตก จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ได้มาทำการเคลือบด้วยทองคำ ด้วยเครื่องเคลือบทอง (SPI Sputter coater model 11430/11425) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยใช้กระแส 18mA นาน 180 วินาที จนมีความหนาของทองที่เคลือบอยู่ระหว่าง 10-20 nm จากนั้นจึงนำชิ้นตัวอย่างที่เคลือบทองแล้ววางในห้องวางตัวอย่างของเครื่อง SEM ที่ตั้งระดับอัตราเร่งของอิเล็กตรอน (Electron concentration) ที่ 15 kV



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(JEOL model JSM 6480LV)





(ก) (ข)

รูปที่ 3.14 การเคลือบตัวอย่างทดสอบด้วยทองคำ

(ก) ชุดเครื่องเคลือบชิ้นงานด้วยทอง

(SPI Sputter coater model 11430/11425)

(ข) แสดงการเคลือบชิ้นงานด้วยทองคำในโถปฏิกิริยา