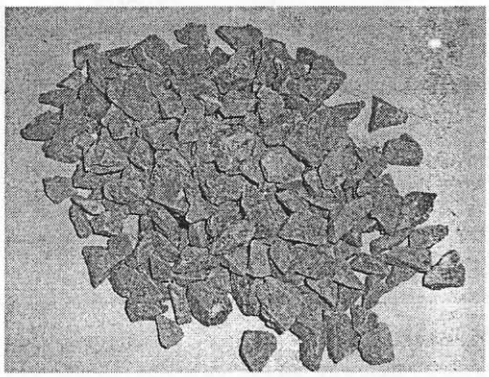
บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทำวิจัย

3.1 วัตถุดิบในการทดลอง

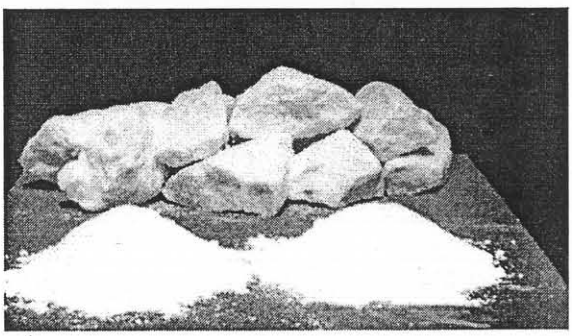
3.1.1 หินปูน หินปูนที่ใช้ในโครงงานวิจัยนำมาจากบริษัท พีระพลศิลา อ.รัตภูมิ จ.สงขลา ซึ่งเป็นหินขนาด 3/8 นิ้วดังรูปที่ 3.1 เป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างและงานอื่นๆมากมายเป็นวัสดุที่หาง่ายในภาคใต้และมีราคาถูกโดยมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งตรวจด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry ตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หินปูนที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ หินปูน จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF)

องค์ประกอบเคมี	ความเข้มข้น (%)
CaO	55.88
MgO	0.78
SiO_2	0.23
Al_2O_3	0.13



รูปที่ 3.2 หินปูนจากบริษัทปูนคุณภาพ (Lime Quality)

หินปูนตามท้องตลาดที่นำมาทำการศึกษาเปรียบเทียบเป็นหินปูนที่มาจากบริษัทปูนคุณภาพ (Lime Quality) จ. สระบุรี 2 ชนิด คือ Turboplex และ Microcal องค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่3.2 และข้อมูลอื่นๆดังตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ หินปูนที่มาจากบริษัทหินปูนคุณภาพ

TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS	
$CaCO_3$	98.00%
Al_2O_3	0.20%
SiO_2	0.30%
Fe_2O_3	0.05%
$MgCO_3$	0.50%
HCl insoluble matter	0.50%
Ignition Loss	44.00%

(ที่มา: Website ของบริษัทปูนคุณภาพจำกัด http://www.lq.co.th)

ตารางที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตของบริษัทปูนคุณภาพจำกัด

PRODUCT		UNCOATED				
PROPERTY		Micro-Ti	CCP 401	Microcal	Whitefill	Omega
Median Size	Micron	1.6	1.6	2.8	4	5
Top cut (D97%)	micron	8	8	14	22	25
Specific Surface Area	(cm^2/g)	20,000	20,000	16,000	14,000	12,000

ที่มา: Website ของบริษัทปูนคุณภาพจำกัด http://www.lq.co.th

ตารางที่ 3.4 ผลิตภัณฑ์แบบเคลือบของบริษัทปูนคุณภาพจำกัด

PRODUCT		COATED							
PROPERTY		Turboplex	Microflex	Turboplex 5005	Turboplex 6116	Turboplex 7227 (Cable)	Turboplex 8339	Turbo-1	Turbo-1 (Cable)
Median Size	micron	2.3	2.3	4.5	2.7	2.3	2.3	1.6	1.6
Top cut (D97%)	micron	10	10	23	12	10	10	8	8
Specific Surface Area	(cm^2/g)	18,000	18,000	12,500	15,000	18,000	18,000	20,000	20,000

ที่มา: Website ของบริษัทปูนคุณภาพจำกัด http://www.lq.co.th

3.1.2 ยางแท่ง STR 5L เป็นยางที่ผลิตมาจากน้ำยางสดโดยตรงผ่านการ Crumbs และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 160°Cเป็นยางที่มีสีสว่างมีสมบัติในการยืดหยุ่นสูง ตารางที่ 3.5ได้แสดงมาตรฐานของยาง STR 5L

รูปที่ 3.3 ยางแท่ง STR5L ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.5 Standard Thai Rubber (STR)

Parameter	TSR CV	TSR L		TSR 5	TSR 10		TSR 20	
	STR 5 CV	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 10	STR 10CV	STR 20	STR 20CV
Dirt (% wt, max)	0.04	0.02	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
Ash (% wt, max)	0.60	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
Nitrogen (% wt, max)	0.60	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Volatile Matter (% wt, max)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Initial Plasticity (min)	NA	35	35	30	30	NA	30	NA
PRI index (min)	60	60	60	60	50	50	40	40
Colour Lovibond Scale (individual value, max)	NA	4.0	6.0	NA	NA	NA	NA	NA
Mooney Viscosity** (ML, 1+4, 100 ^{o}C)	60 +7/-5	NA	NA	NA	NA	60 +7/-5*	NA	65 +7/-5*

*Not specification status, but are controlled at the producer end.

**Note: Mooney Viscosity limits at time of production. Values will drift higher over time.

These figures are limits, not typical values. Typical values will vary by producer.

(ที่มา: http://www.astlettrubber.com/pdf/nr/str.pdf)

ซึ่งยางแท่ง STR5L ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น อำเภอจะนะ (รูป 3.3) จังหวัดสงขลาแล้วนำมาตัดแบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 150 กรัมและจัดเก็บ

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ขึ้นรูปยาง (ดูรูป 3.4)

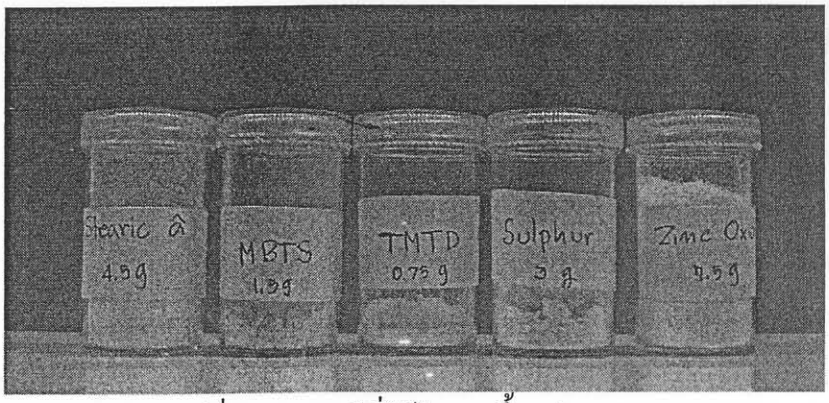
3.1.3.1 Zinc Oxide

3.1.3.2 Stearic Acid

3.1.3.3 Sulphur

3.1.3.4 MBTS (Mercaptobenzothiazole Disulfide)

3.1.3.5 TMTD (Tetramethylthiuramdisulfide)



รูปที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปยาง

3.1.4 สารเคมีสำหรับเคลือบผิวอนุภาคผงหินปูน

3.1.4.1 Polyacrylic Acid

3.1.4.2 Polymetraacrylic Acid

รูป 3.5 ภาพ PMAA และ PAA ตามลำดับ

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องจักร

3.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมผงหินปูน

3.2.1.1 เครื่องบด Cone Crusher ชนิด Coffee Mill ขนาด 14.5 นิ้ว (รูปที่3.6)

3.2.1.2 เครื่องคัดแยกขนาด (Sieve)

3.2.1.3 Alumina Ball (รูปที่3.8)

3.2.1.4 หม้อบด (รูปที่3.9)

3.2.1.5 เครื่องบด Jar Mill (รูปที่ 3.10)

3.2.1.6 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer (LS 230)) (รูปที่3.11)

3.2.1.7 กล้องจุลทรรศน์ และกล้องถ่ายภาพเพื่อทำ Image Analysis (รูปที่3.12)

3.2.1.8 เครื่องกวน RW20(รูปที่3.14)

3.2.1.9 เครื่องกรองสุญญากาศ (Filter Press) (รูปที่3.15)

3.2.1.10 ตู้อบ(Drying Oven) (รูปที่3.16)

3.2.2 อุปกรณ์ในการขึ้นรูปยาง และการทดสอบ

3.2.2.1 เครื่องบดยางแบบ Two-Roll Mill ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 22 นิ้ว (รูปที่ 3.17)

3.2.2.2 เครื่องทดสอบเวลาการวัลคาร์ไนซ์ของยาง (Mooney Disk Rheometer, MDR) (รูปที่ 3.18)

3.2.2.3 แม่พิมพ์สเตนเลส (รูป ที่ 3.19)

3.2.2.4 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก (รูปที่ 3.20)

3.2.2.5 ชิ้นงานที่ผ่านการอัดโดยเครื่องเครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก (รูปที่ 3.21และ รูปที่ 3.22)

3.2.2.6 เครื่องตัดชิ้นทดสอบดัมเบลรุ่น S1 No.C90003124 (รูปที่ 3.23)

3.2.2.7 เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน

3.2.2.8 เครื่องทดสอบยางโดยการดึง(Universal Testing Machine)รุ่น LLOYD 10 kN (รูปที่ 3.25)

3.2.2.9 เครื่องตัดชิ้นทดสอบคันธนู (รูปที่ 3.26)

3.2.2.10 เครื่องวัดความแข็ง MODEL 408 TYPE A (รูปที่ 3.28)

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1 ยางแท่ง STR 5L นำยาง STR 5L มาตัดแบ่งแล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 150 กรัม ทั้งหมด 100 ชุด ทำการจัดเก็บในบริเวณที่ปราศจากแสงแดดและความชื้น

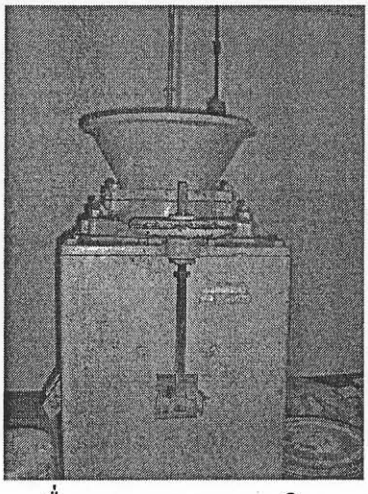
3.3.2 ตัวอย่างหินปูนขนาดละเอียด

3.3.2.1 ศึกษาการบดตัวอย่างหินปูน โดยการนำหินปูนขนาด 3/8 นิ้วมาบดโดยเครื่อง Coffee mill ควบคู่กับการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช ได้ตัวอย่างที่มีขนาดละเอียดกว่า 325 เมช

3.3.2.2 นำตัวอย่างหินปูนวิเคราะห์หาค่า True Density ด้วยเครื่อง Steropycnometer ดังรูป 3.7

3.3.2.3 ทดสอบวิธีการบดเพื่อผลิตหินปูนขนาดละเอียดกว่า 1 ไมครอน(ใช้ Jar Mill) ออกแบบการทดลองดังนี้

1) %Ball Filling (40% , 50% ,60%) ทำการทดสอบ และเก็บข้อมูลแต่ละแบบการทดสอบ
2) Speed (40, 62 rpm) นำค่า%Ball Filling ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาทดสอบเปรียบเทียบตัวแปรค่าความเร็วในการบด
3) Wet & Dry Jar Milling นำค่า Speed ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาทดสอบเปรียบเทียบตัวแปรรูปแบบการบด
4) สารช่วยกระจายตัว สารช่วยการจายตัวที่ทดสอบมี 2 ชนิด คือ Sodium silicate และ Stearic Acid
5) กำหนดเวลาการบดนาน 20 ชั่งโมง แล้วนำมาทำการคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนโดยวิธี Beaker Decantation



รูปที่ 3.6 เครื่อง Cone Crusher ชนิด Coffee Mill

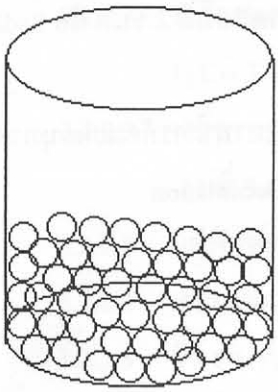
รูปที่ 3.7 เครื่อง Steropycnometer

3.3.3 วิธีการทดสอบ %Ball Filling ที่เหมาะสม

3.3.3.1 ใส่ Alumina Ball ตามแบบการทดลอง(40%Ball Filling คือทำการใส่บอล 40% ของปริมาตรหม้อบด)

3.3.3.2 คำนวณหาปริมาณผงที่จะทำการบดจาก

3.3.3.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณผงสำหรับการบด



V = ปริมาตรของหม้อบด

H = ความสูงภายในของหม้อบด

ใส่บอลให้สูง = $H \times \%Ball$ filling

ปริมาตรที่ใส่บอล (v)= 40% x V

ช่องว่างที่จะใส่ผง (void) = 40%x v (ใช้บอลขนาดเดียวกัน)

ค่า Bulk's density ของผงหินปูน=1.5 g / cm^3

ปริมาณหินปูนที่ใช้ = Bulk's density x void

3.3.3.4 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณผงที่ 40%Ball filling

$V = 3700\ cm^3$

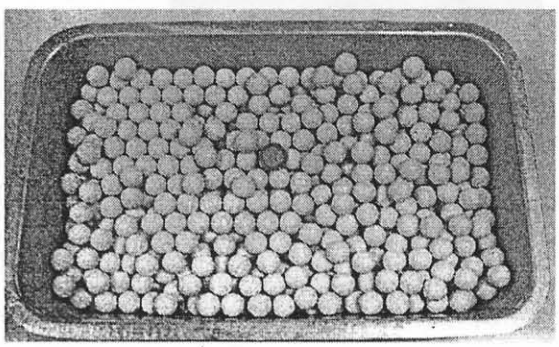
$$V = \frac{40}{100} \times 3700 = 1480\ cm^3$$

$$Void = \frac{40}{100} \times 1480 = 592\ cm^3$$

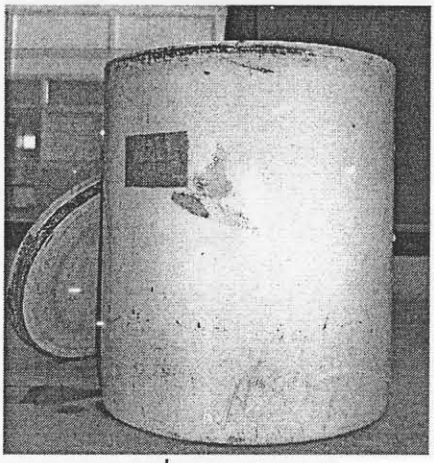
ปริมาณผงหินปูน = 1.5 x 592 = 888 g

3.3.3.5 พร้อมทำการวิเคราะห์ขนาดหินปูนใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบกระเจิงแสง(Light Scattering) และกล้องจุลทรรศน์ที่มีโปรแกรม Image Analysis

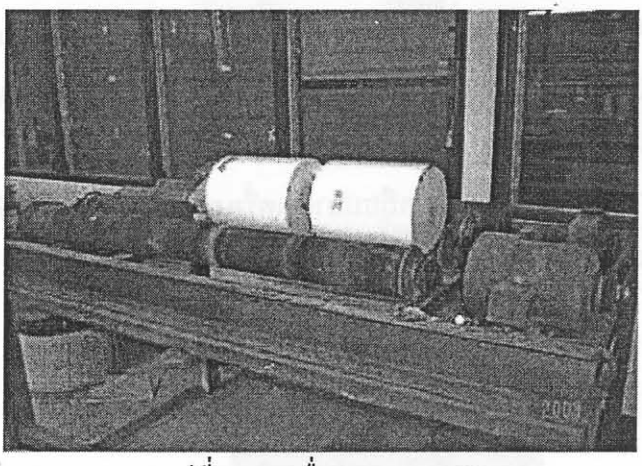
3.3.3.6 จัดเก็บตัวอย่างหินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนไว้ในรูป Suspension



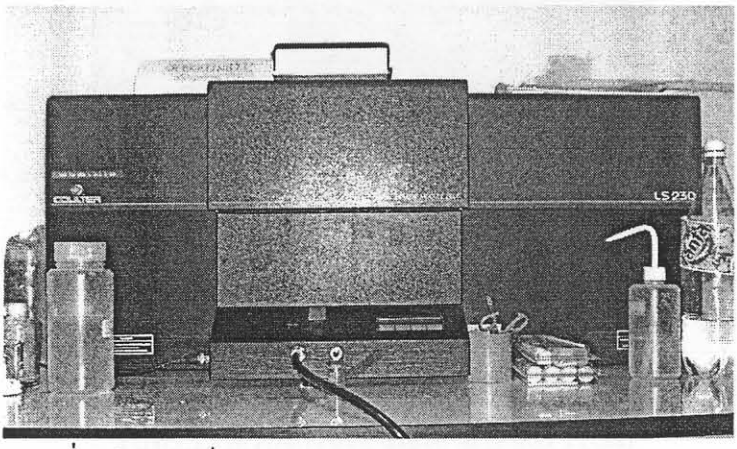
รูปที่ 3.8 Alumina Ball



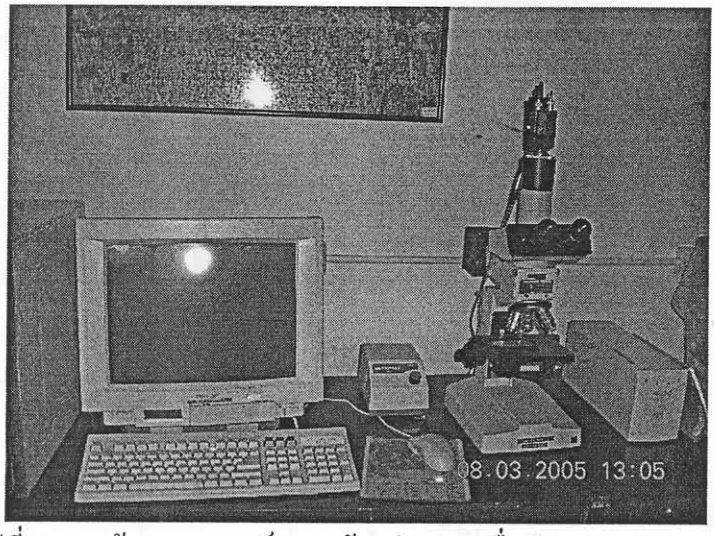
รูปที่ 3.9 หม้อบด



รูปที่ 3.10 เครื่องบด Jar Mill



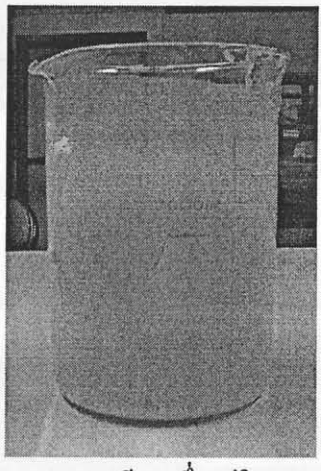
รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค(Laser Particle Size Analyzer (LS 230))



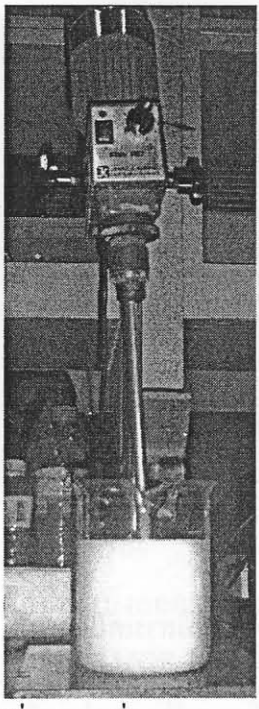
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์และกล้องถ่ายภาพเพื่อทำ Image Analysis

3.3.4 ตัวอย่างหินปูนขนาดละเอียดที่มีการเคลือบผิว นำตัวอย่างหินปูนที่มีขนาดละเอียดกว่า 1 ไมครอนซึ่งอยู่ในสภาพสารแขวนลอยดังรูปที่3.13 นำมาศึกษารูปแบบของการเคลือบผิวสารเคมีโดยออกแบบการทดสอบเป็น 2 แบบ คือ

3.3.4.1 การกวนเคลือบ การกวนเคลือบอาศัยเครื่องกวนRW20 ดังรูปที่ 3.14 โดยกำหนดความเร็วรอบของการกวนเป็น 62 rpm และกวนนาน 3 ชั่วโมง

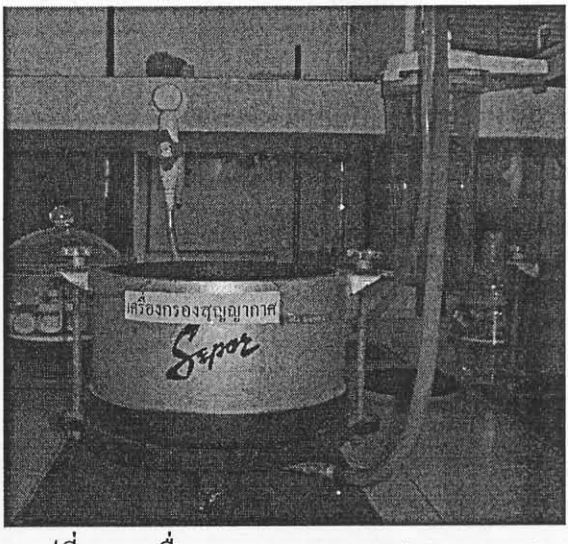


รูปที่ 3.13 หินปูนขนาดละเอียด ซึ่งอยู่ในสภาพสารแขวนลอย

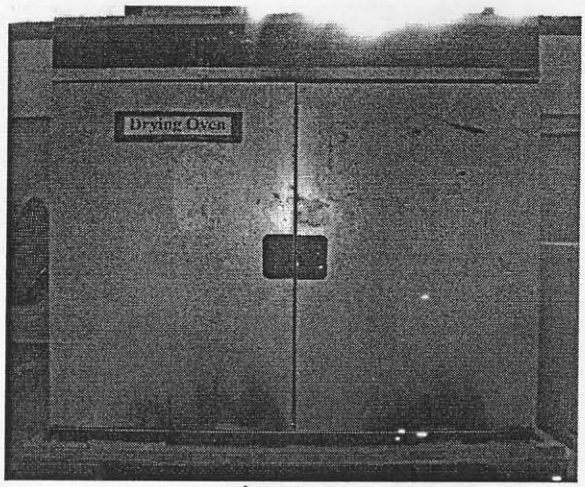


รูปที่ 3.14 เครื่องกวนRW20

3.3.4.2 การบดเคลือบ การบดเคลือบอาศัยเครื่องบด Jar Mill โดยกำหนดความเร็วรอบของการบดเป็น 62 rpm และบดนาน 3 ชั่วโมง หลังทำการเคลือบผิวจะนำตัวอย่างมากรองโดยอาศัยเครื่องกรองสุญญากาศดังรูปที่ 3.15 แล้วนำมาเข้าเตาอบไล่ความชื้น (Drying Oven) ดังรูปที่ 3.16



รูปที่3.15 เครื่องกรองสุญญากาศ (Filter Press)



รูปที่ 3.16 เตาอบ

3.4 การขึ้นรูปยาง สูตรที่ใช้ในการผสมยางโดยมีสารเคมีดังนี้

ตารางที่ 3.6 สูตรในการผสมยางที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับการใส่	ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
1	Stearic Acid	3
2	Zinc Oxide	5
3	หินปูน	10,20,30,40,50
4	MBTS	1
5	TMTD	0.5
6	Sulphur	2

3.4.1 การขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบมีวิธีดังต่อไปนี้ คือ

3.4.1.1 ชั่งสารเคมีตามสูตรยางดังแสดงในตารางที่ 3.6

3.4.1.2 นำยาง STR 5L มาทำการบดยางให้นิ่มประมาณ 3 นาทีด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง เพื่อให้ยางมีความแข็งแรงลดลง ซึ่งจะสามารถผสมกับสารเคมีที่ใส่ได้ง่ายขึ้น

3.4.1.3 เริ่มใส่สารเคมี โดยเริ่มตัวแรก คือ Stearic Acid จำนวน 3 phr โดยโรย Stearic Acid ให้ทั่วแผ่นยาง จนหมด ในระหว่างนั้นก็ใช้มีดกรีดยางเพื่อให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น

3.4.1.4 ใส่สารเคมีตัวต่อไป คือ Zinc oxide จำนวน 5 phr โรยให้ทั่วแผ่นยางจนกระทั่งหมด

3.4.1.5 ใส่ผงหินปูน ตามปริมาณที่กำหนดของแต่ละสูตร โรยให้ทั่วแผ่นยาง จนกระทั่งหมด

3.4.1.6 ใส่สาร MBTS จำนวน 1 phr โรยให้ทั่วแผ่นยาง จนกระทั่งหมด

3.4.1.7 ใส่สาร TMTD จำนวน 0.5 phr โรยให้ทั่วแผ่นยาง จนกระทั่งหมด

3.4.1.8 ใส่สาร Sulphur จำนวน 2 phr โรยให้ทั่วแผ่นยาง จนกระทั่งหมด

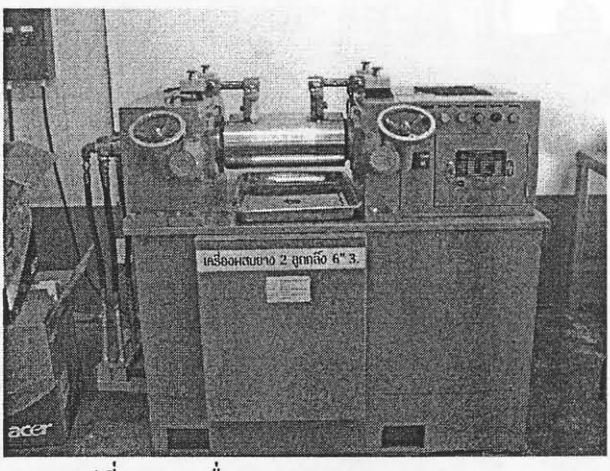
3.4.1.9 ในระหว่างการใส่สารข้อ 3-6 ให้ใช้มีดกรีดยางและหมั่นกลับหน้ายาง เพื่อให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น

3.4.1.10 เมื่อทำการใส่สารเคมีหมดทุกตัวแล้ว ให้นวดยางต่ออีกประมาณ 5 นาที สรุปเวลาในการขึ้นรูป 1 สูตร ประมาณ 20 นาที เสร็จแล้วทำความสะอาดเครื่องโดยใช้ยางที่ใช้สำหรับล้างเครื่อง

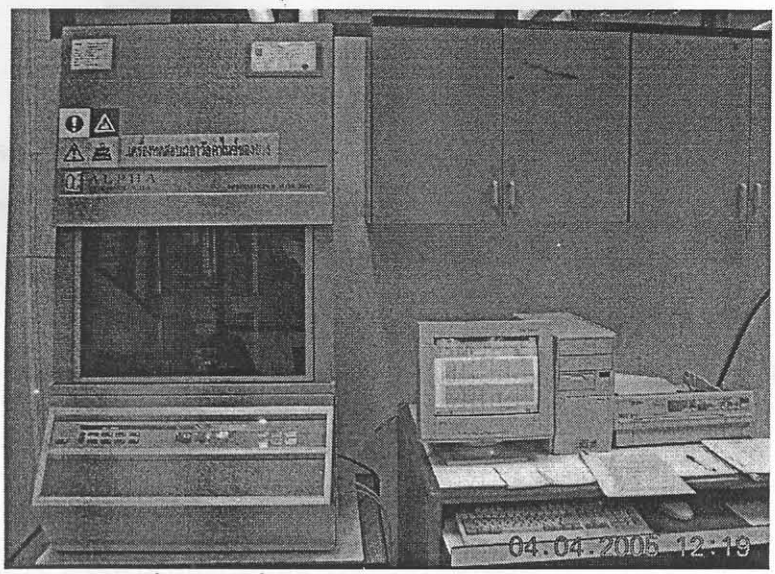
3.4.1.11 นำยางที่ผสมได้มาตัดแบ่งออกประมาณ 4-5 กรัม มาทดสอบหาเวลาในการวัลคาร์ไนซ์โดยใช้เครื่อง MDR 2000 โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 160 °C

3.4.1.12 จากนั้นนำยางมาตัดแบ่งออกเป็น 4 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นจะมีน้ำหนัก 20-25 กรัม นำมาอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดยางไฮโดรลิก โดยใช้อุณหภูมิ 160 °C และเวลาที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง MDR โดยขนาด Mold ที่ใช้คือขนาด 13×13 เซนติเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร ใช้สองแผ่นประกบกัน และมีแผ่นซึ่งมีช่องอยู่ตรงกลางขั้นระหว่าง Mold 2 แผ่น

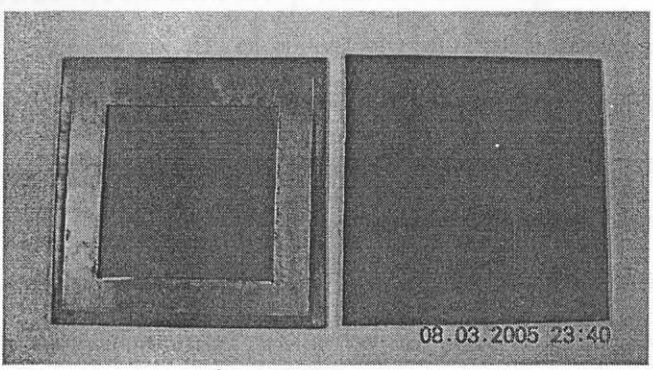
3.4.1.13 นำยางที่ได้จากการอัดขึ้นรูป ซึ่งในแต่ละสูตรจะมีทั้งหมด 4 แผ่น โดยแบ่ง 2 แผ่นมาทำการตัดเป็นรูปดัมเบล และ 2 แผ่นที่เหลือมาทำการตัดเป็นรูปคันธนู โดยชิ้นงานที่ตัดเป็นรูปดัมเบลจะใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง และชิ้นงานที่ตัดเป็นรูปคันธนูใช้ในการทดสอบความต้านทานการฉีดขาด และเศษที่เหลือจากการตัดจะไปใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็ง



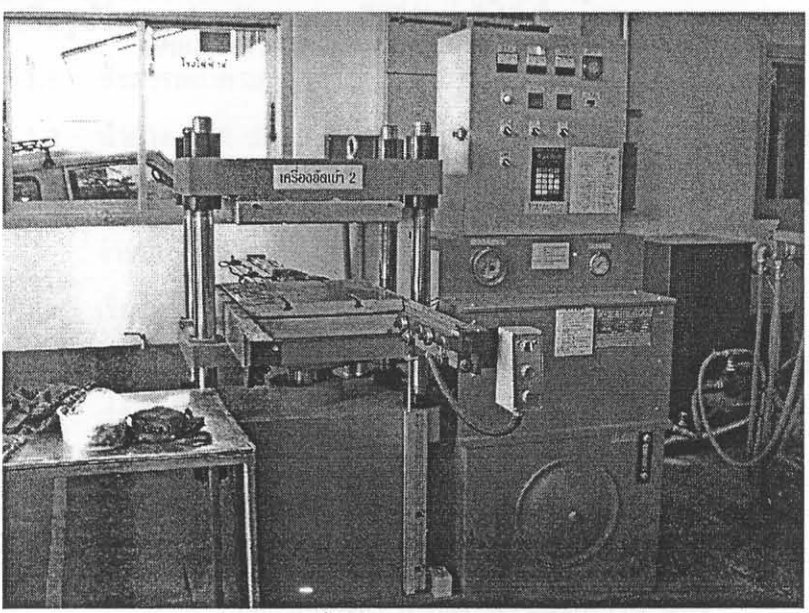
รูปที่ 3.17 เครื่องบดยางแบบ Two-roll mill



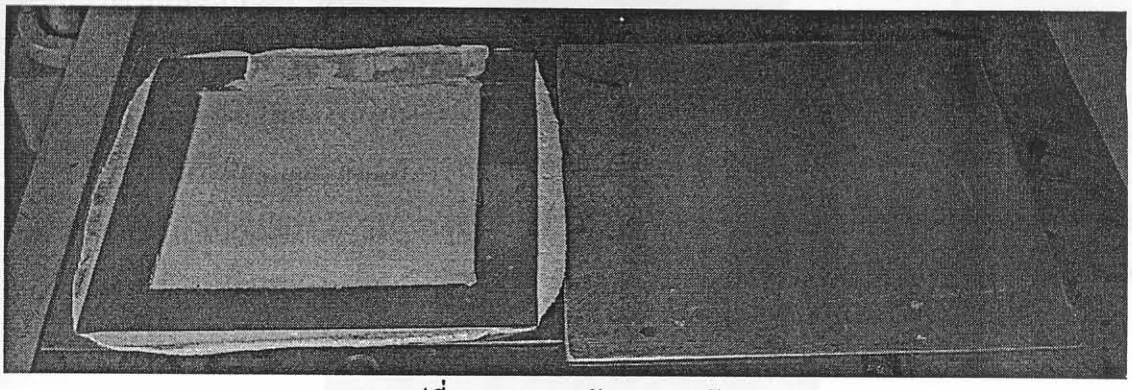
รูปที่ 3.18 เครื่อง MDR หาเวลาของการวัลคาไนซ์



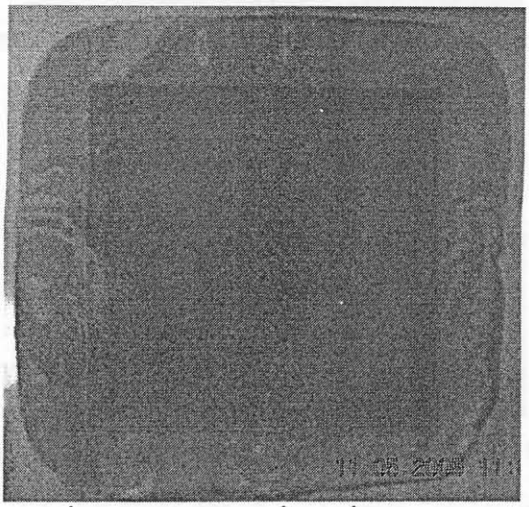
รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์สเตนเลส



รูปที่ 3.20 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก



รูปที่ 3.21 ภาพหลังจากการอัด



รูปที่ 3.22 ชิ้นงานที่ผ่านการอัดโดยเครื่องเครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก

3.5 การทดสอบชิ้นงาน

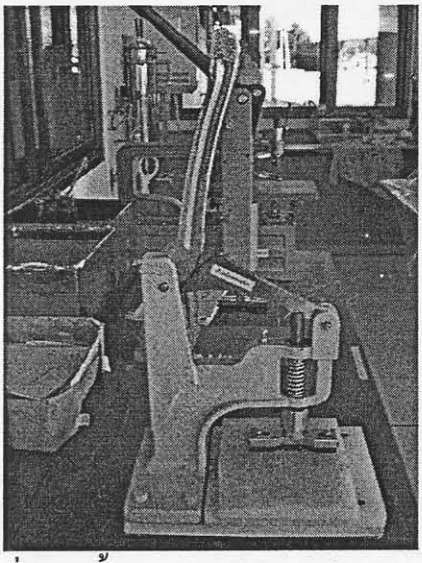
3.5.1 การทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง

ใช้เครื่องทดสอบยางโดยการดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LLOYD 10 kN เพื่อหาความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ค่ามอดูลัส การทดสอบโดยการดึงให้ยืดออกเป็นการวัดความสามารถในการยืดและการทนทานต่อการผิดรูป และการรับแรงดึงของยางวัลคาร์ไนซ์

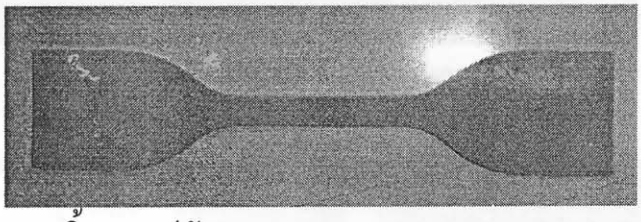
ยางเป็นวัสดุที่มีความสามารถยืดได้หลายเท่าตัว แต่น้อยครั้งนักที่การใช้งานของยางอยู่ในรูปของการยืด ถึงกระนั้นก็ตามสมบัติของยางในการยืด-ดึง ก็เป็นสมบัติพื้นฐานที่ใช้กันมานานในอุตสาหกรรมยาง เพื่อแสดงคุณภาพของยาง ซึ่งเมื่อยางถูกแรงกระทำจะยืดออกโดยส่วนยืดเป็นสัดส่วนกับขนาดของแรง ต่อความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับส่วนยืดไม่เป็นเชิงเส้นตรง และสมบัติด้านการดึงของยางไม่ใช่สมบัติประจำตัว (Intrinsic Property) ที่คงที่ แต่เป็นสิ่งที่แปรค่าได้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ของการทดสอบ

การวัดมอดูลัสของยางจึงแตกต่างไปจากการวัดมอดูลัสของโลหะ โดยที่มอดูลัสของยางจะหมายถึงความเครียด (Strain) ของยางที่ยืดออก 100% และ 200% เป็นต้น

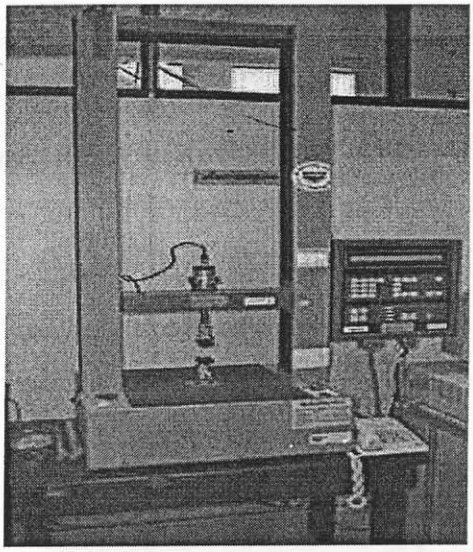
นำชิ้นงานที่ตัดเป็นรูปดัมเบลแล้ว นำมาวัดความหนาโดยทำการวัด 3 จุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทั่วไปในการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและการทดสอบความต้านทานการฉีดขาดจะใช้มาตรฐาน ASTM D-412 (Die C) ในการทดสอบชิ้นงานอย่างน้อย 5 ชิ้น ในแต่ละสูตร ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบยางโดยการดึง รุ่น LLOYD 10 kN ความเร็วที่ใช้ในการดึง 500 mm/min



รูปที่ 3.23 เครื่องตัดชิ้นทดสอบดัมเบล รุ่นS1No.C90003124



รูปที่ 3.24 ชิ้นงานรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D-412 (Die C)



รูปที่ 3.25 เครื่องทดสอบยางโดยการดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LLOYD 10 KN

การคำนวณ

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) (MPa) $= \frac{F}{A}$

เปอร์เซ็นต์การยืด (% Elongation) $= \left(\frac{L - L_0}{L_0}\right) \times 100$

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Tensile modulus) ที่ 300% การยืด $= Tensile \;\; stress@300\% Strain$

ซึ่ง F = แรงดึงที่จุดชิ้นงานขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (m^2)

L = ระยะระหว่างจุด Bench marks ของชิ้นงานทดสอบที่ระยะสุดท้ายก่อนขาด (m)

L_o = ระยะระหว่างจุด Bench marks ของชิ้นงานก่อนการทดสอบ (m)

3.5.2 การทดสอบความต้านทานการฉีกขาด

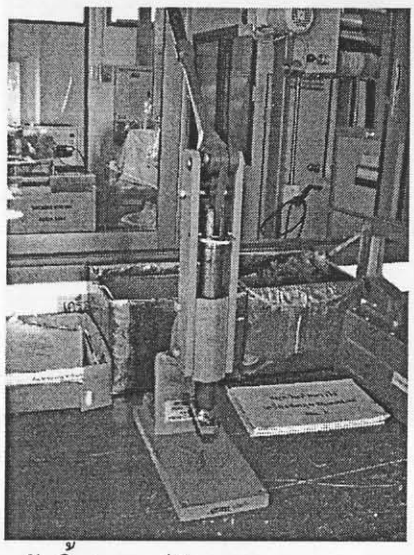
ซึ่งจะใช้เครื่องเดียวกันกับการทดสอบการต้านทานแรงดึง แต่ทำการเปลี่ยนชิ้นงานเป็นรูปคันธนูตามมาตรฐาน ASTM D 624 ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จะคำนวณจากสมการดังนี้

$$T_s = \frac{F}{d}$$

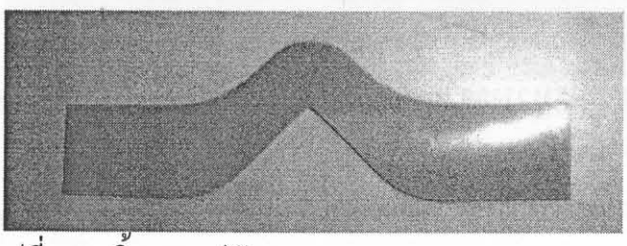
ซึ่ง T_s = Tear strength (kN/m)

F = แรงดึง ที่ชิ้นงานขาด (N)

d = ความหนาของชิ้นงาน (m)



รูปที่ 3.26 เครื่องตัดชิ้นงานรูปคันธนู ตามมาตรฐาน ASTM D 624



รูปที่ 3.27 ชิ้นงานรูปคันธนู ตามมาตรฐาน ASTM D 624

3.5.3 การทดสอบความแข็งของยาง

ใช้เครื่องวัดความแข็งของยาง (Model 408 Type A) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 เพื่อวัดความแข็งของยาง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางกับปริมาณของสารตัวเติมในสูตรยาง ความแข็งของยางสามารถวัดได้โดยการใช้แรงกดเข็ม หรือลูกโลหะกลมไปลงบนผิวของยาง และค่อยวัดรอยยุบตัวนั้น แต่เนื่องจากว่ายางเป็นวัสดุที่ยืดหยุ่น ดังนั้นการวัดรอยยุบตัว จะต้องกระทำขณะที่ยังคงแรงกดนั้นไว้

การใช้แรงกดที่มากจะทำให้ยางยุบตัวได้มาก ในกรณีที่ยางแข็งมากๆ ยางจะยุบตัวน้อยเมื่อถูกกด การวัดรอยยุบตัวจึงทำได้ยาก ดังนั้นยางที่แข็งมากๆ ก็จะต้องทดสอบด้วยขนาดของแรงกดที่สูงตามไปด้วย มิฉะนั้นยากที่จะเห็นรอยยุบตัว

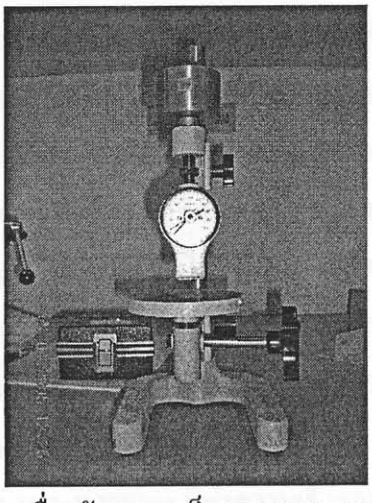
ระยะการยุบตัวของยาง นอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติความแข็งของยางเองแล้วยังขึ้นอยู่กับ

3.5.3.1 ขนาด และลักษณะของแรงที่กด

3.5.3.2 รูปร่าง และขนาดของตัวกด (Indentor)

3.5.3.3 ความหนาของแผ่นยาง

3.5.3.4 ระยะเวลาที่กด



รูปที่3.28 เครื่องวัดความแข็ง MODEL 408 TYPE A

3.5.4 การทดสอบการยึดเกาะกันของยางและสารตัวเติมโดยหลักการหา Bound Rubber Content ตามวิธีที่ศึกษา Mirta (2540)

3.5.4.1 นำยางผสม(Compound Rubber) มาตัดมีขนาดประมาณ 10×10 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร

3.5.4.2 ชั่งน้ำหนัก(m_1)

3.5.4.3 นำมาแช่ในสารละลาย Hexane ปริมาตร 25 ml แช่เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.5.4.4 ปล่อยให้ชิ้นงานแห้งอุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง

3.5.4.5 ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง(m_2)

3.5.4.6 นำมาค่ามาคำนวณหาค่า(Bound Rubber Content)

$$\%Bound\ Rubber\ Content = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$