

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษากการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในแผ่นยางธรรมชาติ ได้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวพา และศึกษาผลของสารที่ถ่ายโอนเข้าไปนี้ต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาดของยางธรรมชาติ และนำไปตัดเป็นเม็ดยางต่อไป

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือทดลองการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติ

1.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมี ทำจากเหล็กสแตนเลส มีความจุขนาด 0.275 ลิตรประกอบด้วยท่อ 2 ชั้น ชั้นในใส่ตะแกรงเพื่อรองรับแผ่นยางและบรรจุสารอินทรีย์ ท่อชั้นนอกสำหรับให้น้ำหล่อร้อนเย็นไหลผ่าน เพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยมีช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ แสดงดังรูป 3.2

1.2 เครื่องทำความเย็นเป็นถังน้ำที่มีชุดทำความเย็นอยู่โดยรอบ ลักษณะเดียวกับตู้เย็น ส่วนชุดท่อทองแดงที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไหลผ่านจะแช่อยู่ในน้ำภายในถังดังกล่าว จำนวน 35 ชุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางชุด 0.125 นิ้วและยาว 600 เซนติเมตร เพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว แสดงดังรูป 3.3

1.3 ถังพักคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ทำจากท่อเหล็กสแตนเลส ประกอบด้วยท่อ 2 ชั้น ท่อชั้นในเป็นที่เก็บของคาร์บอนไดออกไซด์เหลวมีความจุประมาณ 0.8 ลิตร ท่อชั้นนอกใช้สำหรับให้น้ำหล่อเย็นไหลตลอดเวลา เพื่อให้คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว โดยมีช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในถังคาร์บอนไดออกไซด์เหลว แสดงดังรูป 3.4

1.4 เครื่องสูบลมแรงดันสูง เป็นเครื่องสูบลมแบบกระบอกสูบ โดยกระบอกและลูกสูบเป็นอะลูมิเนียม ตั้งอัตราการสูบลมได้ละเอียด มีความสามารถในการเพิ่มความดันได้สูงสุดประมาณ 200 บาร์ ใช้สูบลมคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจากถังพักเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมี เพื่อให้ได้ความดันตามที่ต้องการผลิตโดยบริษัท Prominent Meta จำกัด รุ่น Hauptantrieb/Main Drive แสดงดังรูป 3.5

1.5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนป้อนน้ำ ขณะทำการทดลองที่อุณหภูมิสูง น้ำร้อนจะถูกสูบไปตามท่อขนาด 0.5 นิ้ว เข้าสู่ท่อชั้นนอกของเครื่องปฏิกรณ์เคมี

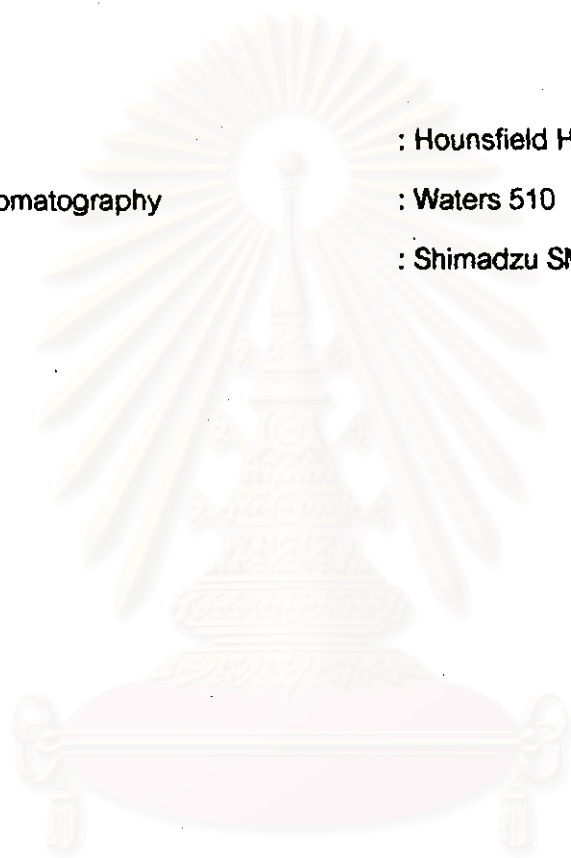
1.6 อุปกรณ์วัดปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น dry gas meter รุ่น Ricoh diaphragm gas meter

2. เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) LabTech Engineering

3. เครื่องตัดยางเม็ดยาง แสดงดังรูป 3.6

3.2 เครื่องมือวัด

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| 1. Tensile test | : Hounsfield H10KM/523 |
| 2. Gel permeation chromatography | : Waters 510 |
| 3. Mooney viscometer | : Shimadzu SMV-200 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ยางธรรมชาติและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ยางธรรมชาติ

เป็นยางแผ่นทำจากน้ำยางสด โดยคุณยวิชัยยางจังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อวันที่ 20 มกราคม 2540

ตาราง 3.1 พันธุ์ยางตัวอย่างจากสวน

พันธุ์ยาง	กว้าง (มิลลิเมตร)	ยาว (มิลลิเมตร)	หนา (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	หมายเหตุ
BPM24 เฉลี่ย	388	594	3.9	703	สีน้ำตาลถึง
ความเบี่ยงเบน	4	2	0.1	11	น้ำตาลเข้ม
RRIM600 เฉลี่ย	375	631	4.2	746	สีเหลืองปน
ความเบี่ยงเบน	25	21	0.3	88	น้ำตาลอ่อน
RRIC110 เฉลี่ย	366	632	4.1	716	สีน้ำตาลเข้ม
ความเบี่ยงเบน	21	40	0.2	23	ปนดำ
PB235 เฉลี่ย	353	593	4.0	647	สีเหลืองปน
ความเบี่ยงเบน	28	33	0.2	73	น้ำตาลอ่อน
PB310 เฉลี่ย	374	606	3.9	757	สีเหลืองปน
ความเบี่ยงเบน	21	22	0.1	86	น้ำตาลอ่อน
KRS156 เฉลี่ย	378	604	4.2	774	สีน้ำตาลเข้ม
ความเบี่ยงเบน	25	29	0.1	59	ปนดำ
KRS226 เฉลี่ย	383	622	4.7	819	สีน้ำตาลถึง
ความเบี่ยงเบน	20	19	0.2	56	น้ำตาลเข้ม
GT1 เฉลี่ย	350	621	4.0	676	สีเหลืองปน
ความเบี่ยงเบน	19	23	0.1	68	น้ำตาลอ่อน

หมายเหตุ จำนวนแผ่นยางแต่ละพันธุ์ที่นำมาตรวจวัด 5 แผ่น

2. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์	สูตรโมเลกุล	น.น. โมเลกุล	จุดหลอม เหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความหนืด (mN.s.m ⁻²)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	46.07	-117.3	78.5	1.078	0.7893 ²⁰ ₄
n-propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	60.09	-127	97.1	2.004	0.7796 ²⁰ ₄
n-butanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	74.12	-89.8	117.5 ⁷⁰⁰	3.379 ¹⁵	0.8098 ²⁰ ₄
n-octanol	CH ₃ (CH ₂) ₇ OH	130.23	16.7	194.5	6.125 ³⁰	0.8270 ²⁰ ₄
Propylene glycol	CH ₃ CHOHCH ₂ OH	76.10	-	189	56	1.0361 ²⁰ ₄
Cetostearyl alcohol	CH ₃ (CH ₂) ₁₅ OH	242.45	50	344	-	0.8176 ⁵⁰ ₄
Ethanolamine	NH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	61.08	10.3	170 ⁷⁰⁰	19.35	1.0180 ²⁰ ₄
Paraffin wax	C _n H _{2n+2}	360-420	49-63	-	-	≈ 0.75 ⁸³

3. สารเคมีอื่นๆ

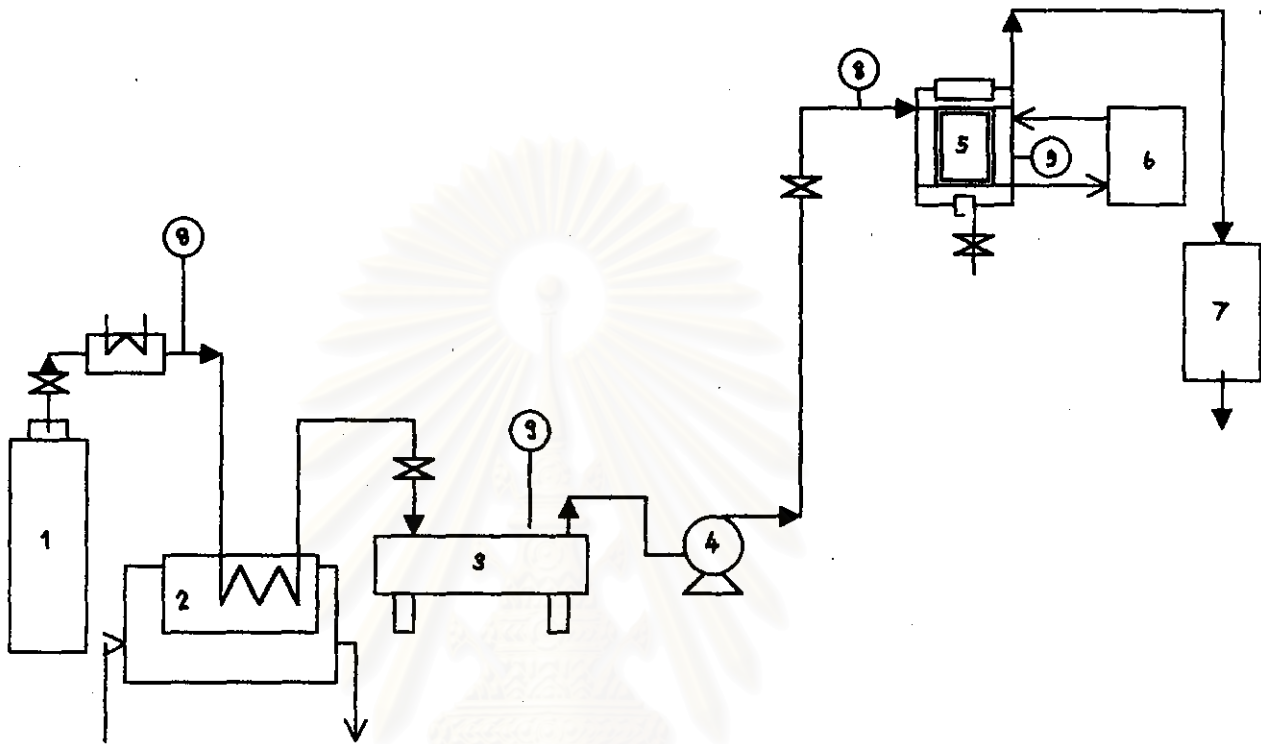
Tetrahydrofuran

: J.T.Baker

Zinc stearate

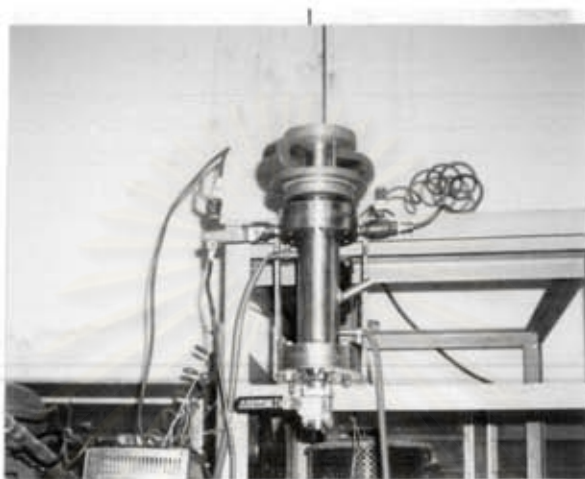
: บริษัททองฮวดจำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

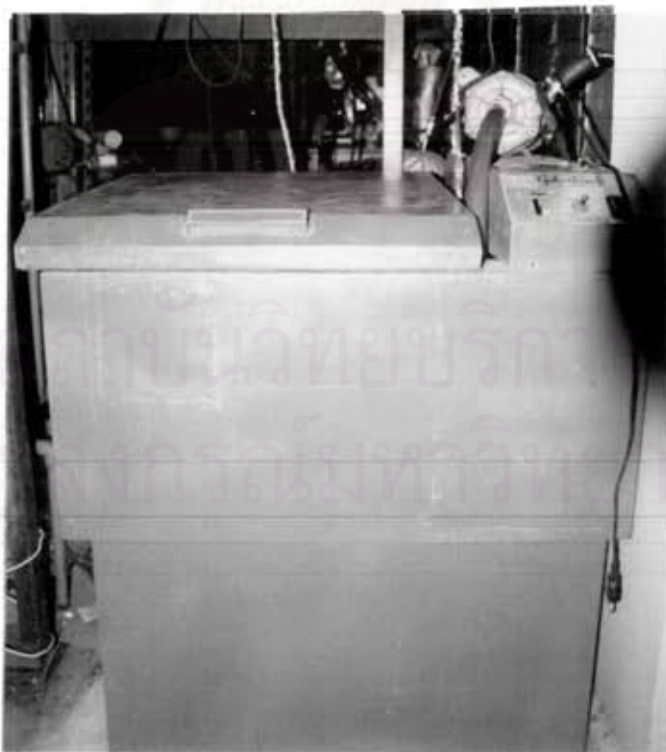


- | | |
|----------------------------|---|
| 1. ถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ | 6. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ |
| 2. เครื่องทำความเย็น | 7. อุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ |
| 3. ถังพักคาร์บอนไดออกไซด์ | 8. มาตรวัดความดัน |
| 4. เครื่องสูบลมแรงดันสูง | 9. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ |
| 5. เครื่องปฏิกรณ์เคมี | |

รูป 3.1 แสดงแผนผังอุปกรณ์ทดลองการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางแผ่นธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือจุดวิกฤต



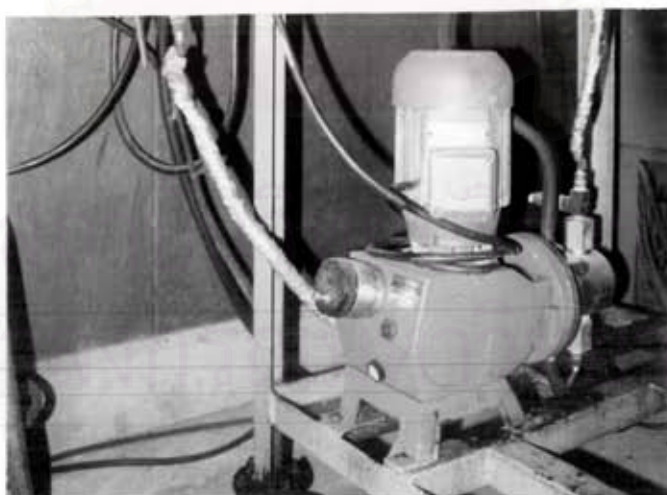
รูป 3.2 เครื่องปฏิกรณ์เคมี



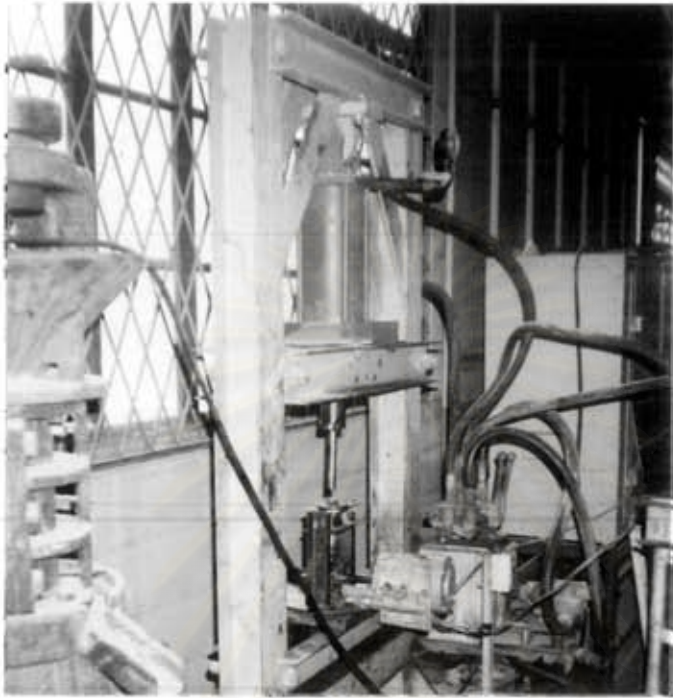
รูป 3.3 เครื่องทำความเย็น



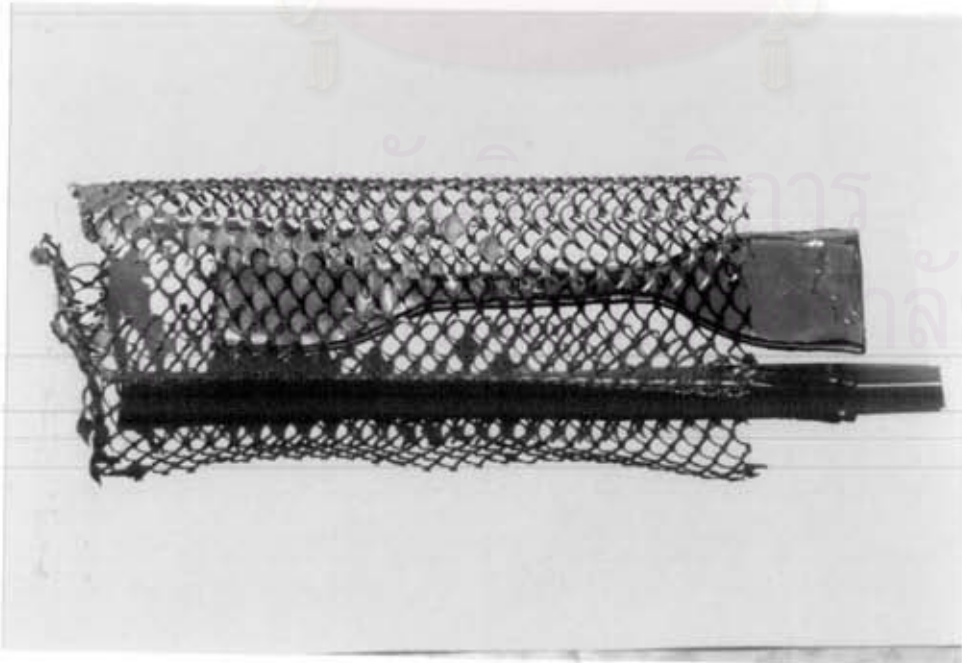
รูป 3.4 ดึงหักคาร์บอนไดออกไซด์



รูป 3.5 เครื่องสูบลมแรงดันสูง



รูป 3.6 เครื่องตัดยางเม็ด



รูป 3.7 การใส่ตัวอย่างยางขณะทดลอง

3.4 การดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

นำยางแผ่นธรรมชาติไปวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ตามวิธี ASTM D 3536, 1980[46] โดยใช้เครื่อง GPC ยางธรรมชาติที่นำไปหาน้ำหนักโมเลกุลได้แก่ พันธุ์ BPM24, RRIM600, RRIC110, PB235, PB310, KRS156, KRS226 และ GT1 แสดงอยู่ในตาราง 3.1

2. การทดลองผลของความดันและอุณหภูมิต่อสัดส่วนน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางทั้งหมด

เตรียมยางแผ่นขนาดกว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และหนา 0.2 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 6 กรัมจำนวน 2 แผ่น ใส่ในตะแกรงลวดรูปทรงกระบอก แล้วใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมี สูบคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจากถังพักเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมี ให้ความความดัน 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 บาร์ ควบคุมอุณหภูมิแต่ละการทดลองที่ 57 องศาเซลเซียสโดยใช้ระบบน้ำหล่อ ปล่อยให้ดูดซับเป็นเวลา 60 นาที เสร็จแล้วลดความดันทันที จนกระทั่งความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์เคมีเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นวัดปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ยางปล่อยออกมาผ่านเครื่อง dry gas meter แล้วจึงเปิดเครื่องปฏิกรณ์เคมีนำยางแผ่นตัวอย่างออกมา

ทดลองต่อโดยทำการทดลองที่ความดัน 80 บาร์ ควบคุมอุณหภูมิแต่ละการทดลองเป็น 37, 47, 57, 67 และ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในลักษณะเดียวกัน

3. การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นยางธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ

นำแผ่นยางธรรมชาติที่ทดสอบการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 37, 47, 57, 67 และ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากการทดลองในข้อ 2 ไปวัดน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุล

4. การบดขยาดธรรมชาติด้วยเครื่องบดผลสมยาง (two-roll mill)

การบดขยาดธรรมชาติทำเพื่อลดค่าความหนืดมูนนี่ (mooney viscosity) ซึ่งเป็นการลดขนาดโมเลกุลของยาง เพื่อนำไปทดสอบอัตราการถ่ายโอนและความต้านทานแรงดึง

การทดลองทำโดยเตรียมยางแผ่นหนักประมาณ 35 กรัม ไปบดด้วยเครื่องบดผลสมยาง ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆคือ 15, 30, และ 60 นาที ขณะที่บดยางจะปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่บดยางให้ห่างกัน 1.5 มิลลิเมตร เมื่ออบจนครบเวลาตามที่กำหนด จะได้อย่างแผ่นที่มีความหนาเท่ากัน ห้อยยางแผ่นที่ได้ด้วยพลาสติกที่บดแสงและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

นำยางที่บดแล้วไปวัดความหนืดมูนนี่ ตามวิธี ASTM D 1646, 1996[48] และจากนั้นนำไปวัดน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุล

การทดลองการถ่ายโอนไรพาราฟินเข้าไปในยางธรรมชาติที่บดแล้ว ทำโดยนำตัวอย่างยางไปตัดเป็นชิ้นทดสอบดัมเบล (dumbbell) มีความกว้างของช่วงที่จะวัด 6.0 มิลลิเมตร นำมาทดลองการแทรกซึมของไรพาราฟิน โดยชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นก่อนทดลอง ใส่ยางจำนวน 4 ชิ้น ในตะแกรงลวดทรงกระบอก โดยมีแผ่นกระดาษคั่นกลางแต่ละชิ้นไว้ ป้องกันไม่ให้ยางติดกัน แสดงดังรูป 3.7 นำตะแกรงลวดนี้ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมี นำไรพาราฟิน มาให้ความร้อน จนกระทั่งไรละลายเป็นของเหลว เทไรพาราฟินเหลวลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมี จนท่วมชิ้นทดสอบ จากนั้นปิดเครื่องปฏิกรณ์เคมี ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 59 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้นาน 60 นาที ที่ความดันบรรยากาศ เสร็จแล้วนำชิ้นทดสอบมาอบที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และชั่งไรพาราฟินที่อยู่ผิวยาง นำไปชั่งน้ำหนักหลังทดลอง เพื่อคำนวณปริมาณไรพาราฟินที่แทรกซึมเข้าไปในชิ้นยางโดย

$$\text{ปริมาณการแทรกซึม} = \frac{(\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังทดลอง} - \text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนทดลอง}) \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนทดลอง}}$$

มีหน่วยเป็น phr (part per hundred rubber)

การทดลองการถ่ายโอนโพรพิลีนไกลคอลก็ดำเนินการในลักษณะเดียวกัน

5. การทดลองการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติ

สารอินทรีย์ที่เลือกใช้เพื่อทดลองการถ่ายโอนเข้าไปในยางธรรมชาติ ได้แก่ ethanol, n-propanol, n-butanol, n-octanol, cetostearyl alcohol, propylene glycol, ethanalamine,

paraffin wax, และ glyceryl monostearate ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการถ่ายโอนสารแต่ละชนิด และผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงของยาง

นำตัวอย่างยางที่บดแล้ว 15 นาที ค่าความหนืดมูนนี่เท่ากับ 56 ML 1+4 100 °C มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล เตรียมไว้เพื่อทดลองการแทรกซึมสารอินทรีย์แต่ละชนิด โดยมีคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวพา ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

ชั่งน้ำหนักยางชิ้นทดสอบก่อนทดลองจำนวน 4 ชิ้น แล้วใส่ลงในตะแกรงลวดรูปทรงกระบอก โดยมีแผ่นกระดาษคั่นกลางไว้ป้องกันไม่ให้ยางติดกัน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เคมี เทสารอินทรีย์ลงไปจนท่วมชิ้นทดสอบ ปิดเครื่องปฏิกรณ์เคมี สูบคาร์บอนไดออกไซด์จากถังพักเข้าเครื่อง ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 59 องศาเซลเซียส ความดัน 80 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นจึงปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจนความดันในเครื่องปฏิกรณ์เคมีเท่ากับความดันบรรยากาศ นำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักหลังทดลอง และคำนวณปริมาณการแทรกซึมสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติ มีหน่วยเป็น phr จากนั้นนำไปวัดความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาด ตามวิธี ASTM D 412, 1987[47]

6. การทดสอบการถ่ายโอนโซพาราฟินเข้าไปในยางธรรมชาติ

เนื่องจากตัวอย่างยางที่ทดสอบการแทรกซึมของโซพาราฟิน มีสมบัติความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาดเปลี่ยนไป อีกทั้งโซพาราฟินเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ จำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 25-30 อะตอม เป็นสารไม่มีขั้ว (non-polar) ผลมกันได้ดีกับยางธรรมชาติซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นไฮโดรคาร์บอนเช่นกัน จึงนำมาทดสอบต่อไปที่ภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และความดันต่อการแทรกซึมโซพาราฟินเข้าไปในยางธรรมชาติ โดยเตรียมตัวอย่างยางที่บดแล้ว 15 นาที ตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล และนำมาทดสอบในลักษณะเดียวกับข้อ 5 ดังนี้

(1) การทดสอบที่ความดันคงที่ 80 บาร์ โดยแปรค่าอุณหภูมิคือ 59, 69 และ 79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 5, 10, 30, 60 และ 120 นาที

(2) การทดสอบที่อุณหภูมิคงที่ 59 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที โดยแปรค่าความดันคือ 0, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 บาร์ ตามลำดับ

7. การทดสอบการถ่ายโอนโพพิลีนไกลคอลเข้าไปในยางธรรมชาติ

เนื่องจากตัวอย่างที่ทดสอบการแทรกซึมของโพพิลีนไกลคอล มีสมบัติความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาดเปลี่ยนไป สารโพพิลีนไกลคอลเป็นสารที่มีขั้วสูง (high polarity) จะผสมเข้ากับองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สารไฮโดรคาร์บอนในยางธรรมชาติ จึงนำมาทดสอบต่อไปที่ภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และความดันต่อการแทรกซึมโพพิลีนไกลคอลเข้าไปในยางธรรมชาติ โดยเตรียมตัวอย่างยางที่บดแล้ว 15 นาที ตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล และนำมาทดสอบในลักษณะเดียวกับข้อ 5 ดังนี้

(1) การทดสอบที่ความดันคงที่ 80 บาร์ โดยแปรค่าอุณหภูมิคือ 59, 69 และ 79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 5, 10, 30, 60 และ 90 นาที

(2) การทดสอบที่อุณหภูมิคงที่ 59 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที โดยแปรค่าความดันคือ 0, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 บาร์ ตามลำดับ

8. การทดสอบผลของอายุตัวอย่างต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาด

เนื่องจากสายไอโซพรีนของยางธรรมชาติมีแนวโน้มในการเรียงตัวเกิดเป็นผลึก ตามเวลาที่เก็บตัวอย่างซึ่งจะทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป จึงทำการทดสอบผลดังกล่าวกับยางธรรมชาติล้วน ตัวอย่างยางที่มีไซพาราฟีน และตัวอย่างยางที่มีโพพิลีนไกลคอลผสมอยู่

การถ่ายโอนไซพาราฟีนและโพพิลีนไกลคอลเข้าไปในยางธรรมชาติ ทำที่อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส ความดัน 80 บาร์ เวลา 60 นาที ทิ้งไว้เป็นเวลานาน 1, 5 และ 30 วัน ก่อนนำไปวัดค่าความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาด

9. การทำยางให้เป็นเม็ด

นำตัวอย่างยางที่ทดสอบการถ่ายโอนไซพาราฟีนและโพพิลีนไกลคอล แล้วมาตัดให้เป็นเม็ดโดยใช้เครื่องตัดระบบไฮดรอลิก (รูป 3.6) ซึ่งมีท่อทรงกระบอกใช้สำหรับใส่ตัวอย่างยางที่จะตัด เครื่องจะอัดยางออกมาเป็นเส้นและที่ปลายท่อทางออกจะมีใบพัดหมุน เพื่อตัดยางที่ออกมาให้เป็นเม็ด มีขนาดใกล้เคียงกัน นำเม็ดยางที่ได้มาวัดขนาดโดยวิธี seive analysis [49]