

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

เรื่องที่ 1

การศึกษาสูตรและเทคโนโลยีการผลิต  
ยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์

โดย

นายพยับ นามประเสริฐ  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1  
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว.

เรื่องที่ 1

การศึกษาสูตรและเทคโนโลยีการผลิต  
ยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์

เลขที่	๑๗
กพ	๑๐๕๐
เลขทะเบียน	๑๑๔๕
วันที่	14 มี.ค. 44

โดย

ด้วยยกย่องพิจารณา
จาก
๑๗

นายพยับ นามประเสริฐ  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว.

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1  
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**

## บทคัดย่อ

เนื่องจากอุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่ของประเทศ เป็นโรงงานอุตสาหกรรมยางขนาดเล็กและขนาดกลาง โรงงานเหล่านี้มักประสบปัญหาด้านสูตรยาง เทคโนโลยีการผลิตและการควบคุมคุณภาพ ทำให้สินค้ามีคุณภาพไม่เป็นไปตามมาตรฐาน มีของเสียมากและต้นทุนสูง การศึกษานี้ต้องการศึกษาเพื่อหาสูตรยาง สภาพะการผลิตรและต้นทุนที่เหมาะสมในการผลิตยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เพื่อถ่ายทอดให้โรงงานอุตสาหกรรมยางนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

การศึกษาทดลองนี้ ได้ทดลองเพื่อหาสูตรและสภาพะการผลิตรยางหุ้มข้อต่อต่าง ๆ ของรถจักรยานยนต์ อาทิ ยาง packing, ยาง cover ฯลฯ โดยได้ทดลองทำยางคงรูปขึ้นจากสูตรยางต่าง ๆ แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับมาตรฐานยางหุ้มข้อต่อของประเทศญี่ปุ่น จากการศึกษาได้สูตรยางหุ้มข้อต่อและสภาพะการผลิตรสำหรับยางความแข็ง 60 Shore A ที่มีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานยางหุ้มข้อต่อของประเทศญี่ปุ่น<sup>(8)</sup> และทำใหยางเกิดปฏิกิริยายางคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 5 นาที

จากสูตรยางที่มีความแข็ง 60 Shore A ได้ปรับปริมาณสารเติมแต่งสมบัติยาง (fillers) และปรับปริมาณสารช่วยใหยางนิ่ม (plasticizers หรือ softeners) โดยทำใหยางเกิดปฏิกิริยายางคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 5 นาที ยางที่ได้มีความแข็ง 40, 50 และ 70 Shore A และมีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานยางหุ้มข้อต่อของประเทศญี่ปุ่น<sup>(8)</sup>

เนื่องจากสภาพะการผลิตรที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยายางคงรูปมีความสำคัญต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนและปริมาณการผลิต การศึกษานี้ได้หาสภาพะการผลิตรที่เหมาะสมโดยปรับปริมาณสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยายางคงรูป ผลการทดลองได้สภาพะการผลิตรที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 180°C เวลา 5 นาที ซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานและเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นด้วย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
บทที่ 1	บทนำ
1.1	ปัญหาและที่มาของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์
1.3	ขอบเขตของการศึกษา
1.4	ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา
1.5	ระยะเวลาดำเนินการ
บทที่ 2	ทฤษฎีพื้นฐาน
2.1	วัตถุประสงค์บียง
2.2	สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง
2.3	องค์ประกอบของสูตรยาง
2.4	กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง
2.5	วัตถุประสงค์บียงที่ใช้ในการผลิตยางชั้นส่วนยานยนต์
บทที่ 3	วิธีการทดลอง และผลการทดลอง
3.1	วัตถุประสงค์บียงและสารเคมี
3.2	เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์
3.3	วิธีการทดลอง และผลการทดลอง
บทที่ 4	วิจารณ์ผลการทดลอง
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง
คำขอบคุณ	
เอกสารอ้างอิง	

	หน้า
ภาคผนวก ก	การศึกษ้อัตราความเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ..... 36
	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์ก (torque) กับเวลา (time)
	ดังรูปที่ 1-16
	รูปที่ 1 Magnesium oxide 1 phr. .... 38
	รูปที่ 2 Magnesium oxide 2 phr. .... 39
	รูปที่ 3 Magnesium oxide 3 phr. .... 40
	รูปที่ 4 Magnesium oxide 4 phr. .... 41
	รูปที่ 5 Magnesium oxide 5 phr. .... 42
	รูปที่ 6 Magnesium oxide 6 phr. .... 43
	รูปที่ 7 Zinc oxide 1 phr. .... 45
	รูปที่ 8 Zinc oxide 2 phr. .... 46
	รูปที่ 9 Zinc oxide 3 phr. .... 47
	รูปที่ 10 Zinc oxide 4 phr. .... 48
	รูปที่ 11 Zinc oxide 5 phr. .... 49
	รูปที่ 12 Zinc oxide 6 phr. .... 50
	รูปที่ 13 Zinc oxide 7 phr. .... 51
	รูปที่ 14 TT 1 phr. .... 53
	รูปที่ 15 TT 1.5 phr. .... 54
	รูปที่ 16 TT 2 phr. .... 55
ภาคผนวก ข	การทดสอบสมบัติเชิงกล ..... 56
	ดังรูปที่ 17-20
	รูปที่ 17 เครื่องวัดความแข็ง ..... 56
	รูปที่ 18 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบโมดูลัสที่ความยืด 300% ความ ต้านแรงดึงและความยืดขนาด ..... 57
	รูปที่ 19 ภาพสำหรับแช่ชิ้นทดสอบความทนน้ำมัน ..... 61
	รูปที่ 20 เครื่องมืออัด สำหรับทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด ..... 63
ภาคผนวก ค	สมบัติเชิงกลของยางหุ้มข้อต่อรถจักรยานยนต์ตามมาตรฐาน ..... 65

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 1 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐานและ สูตรยางเบื้องต้น .....	16
ตารางที่ 2	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 2 .....	18
ตารางที่ 3	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 3 .....	20
ตารางที่ 4	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 4 .....	22
ตารางที่ 5	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 5 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน.....	24
ตารางที่ 6	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 6 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน.....	26
ตารางที่ 7	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 7 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน.....	27
ตารางที่ 8	สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 8 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน.....	28
ตารางที่ 9	Oil for test (lubricating oil) .....	62

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทย ทั้งอุตสาหกรรมรถยนต์และรถจักรยานยนต์ได้มีการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และในอนาคตประเทศไทยจะเป็นศูนย์กลางการผลิตยานยนต์ของภูมิภาคนี้เพื่อส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

ในทางตรงกันข้ามการพัฒนาของอุตสาหกรรมยางที่ใช้เป็นชิ้นส่วนยานยนต์มีการพัฒนาค่อนข้างช้า เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมยางชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบเก่า ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือค่อนข้างเก่าและล้าสมัย และมีการนำเข้าเครื่องจักรเก่าที่เลิกใช้แล้วในต่างประเทศเข้ามาใช้ในการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพและมีของเสียมาก นอกจากนี้ยังไม่ค่อยมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีการผลิตและการควบคุมคุณภาพ สินค้าที่ผลิตได้จึงมีคุณภาพต่ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานสากล

ในเวลาอันใกล้รัฐบาลจะยกเลิกการบังคับใช้ชิ้นส่วนยานยนต์ของโรงงานอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมยางชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงทุก ๆ ด้าน ทั้งเทคโนโลยีการผลิต การควบคุมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง เพื่อรองรับตลาดการค้าเสรีที่การแข่งขันจะรุนแรงมากยิ่งขึ้นด้วย

ในการศึกษาวิจัยนี้ ต้องการพัฒนาสูตรและเทคโนโลยีการผลิตยางชิ้นส่วนยานยนต์ และถ่ายทอดให้โรงงาน เพื่อให้โรงงานสามารถผลิตยางชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐานสากล มีต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์ และเพื่อเป็นฐานให้โรงงานสามารถพัฒนาคุณภาพและระบบคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานระบบคุณภาพ ISO 9000, QS 9000 และ ISO/IEC Guide 25 ด้วย

การศึกษาวิจัยนี้ จะทำการทดลองสูตรยางต่าง ๆ และสภาวะต่าง ๆ ในการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาอย่างคงรูป เพื่อหาสูตรและสภาวะที่เหมาะสมในการทำยางคงรูปที่มีคุณภาพดี ประหยัดวัตถุดิบ พลังงานและเวลาที่ใช้ในการผลิต

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิจัยหาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตยางชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เช่น ยาง packing, ยาง cover ชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถผลิตจำหน่ายแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาเอกสาร ตำราวิชาการและมาตรฐาน เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางขึ้นส่วนรถยนต์
- 1.3.2 รวบรวมข้อมูล สูตรการผลิต เทคโนโลยีการผลิต เกณฑ์กำหนด (specification) และมาตรฐานของยางขึ้นส่วนยานยนต์
- 1.3.3 ทำการทดลองหาสูตรการผลิต และกระบวนการผลิตที่ดีและเหมาะสม
- 1.3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของตัวอย่างยางจากการทดลอง
- 1.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบ
- 1.3.6 สรุปผลการศึกษาทดลอง และเผยแพร่

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1.4.1 ได้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม สำหรับการผลิตยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์
- 1.4.2 โรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำผลการศึกษานี้ไปผลิตยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้
- 1.4.3 เกิดการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมยางขึ้นส่วนยานยนต์ของประเทศ

### 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

มกราคม – ธันวาคม 2538



## บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 วัตถุดิบยาง<sup>(10)</sup>

วัตถุดิบยาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ยางธรรมชาติ (natural rubber) และยางสังเคราะห์หรือยางเทียม (synthetic rubber)

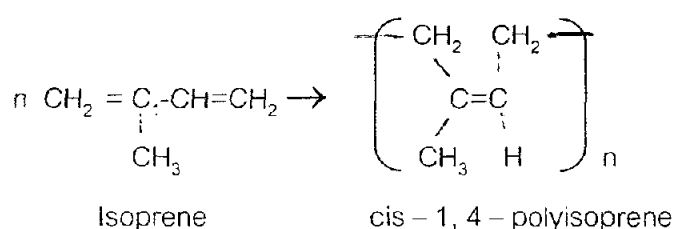
#### 2.1.1 ยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ต้นยางพาราปลูกกันมากในประเทศไทย อินโดนีเซียและมาเลเซีย น้ำยาง (latex) ที่ได้มาจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นน้ำสีขาวคล้ายนํ้านม มีองค์ประกอบดังนี้ ของแข็งทั้งหมด (total solid content) [ซึ่งรวมเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณร้อยละ 33 ด้วย] ประมาณร้อยละ 36 สารโปรตีน (proteinous substances) ประมาณร้อยละ 1 – 1.5 สารเรซิน (resinous substance) ประมาณร้อยละ 1 – 2.5 เถ้า (ash) น้อยกว่าร้อยละ 1 น้ำตาล (sugar) ประมาณร้อยละ 1 และน้ำประมาณร้อยละ 60

ผู้ผลิตวัตถุดิบยางธรรมชาติออกจำหน่าย สามารถผลิตยางธรรมชาติได้หลายลักษณะ ได้แก่

1. น้ำยางข้น (concentrated latex)
2. ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet)
3. ยางแผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet)
4. ยางเครพ (crepe rubber)
5. ยางแท่ง (block rubber)

สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ เป็น cis - 1, 4 - polyisoprene

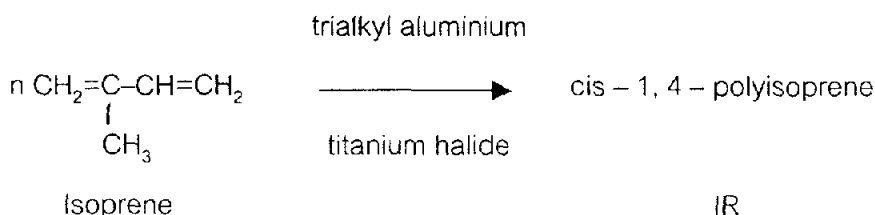


ยางธรรมชาติ มีสมบัติทนแรงดึงและแรงฉีกได้สูง มีการยืดหยุ่นสูง การสะสมความร้อน (heat built up) น้อย ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ สายพาน ยางพองน้ำ กาวยาง ถูมือยาง และอื่น ๆ

## 2.1.2 ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี ยางสังเคราะห์จึงมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

### 2.1.2.1 Synthetic polyisoprene (IR)



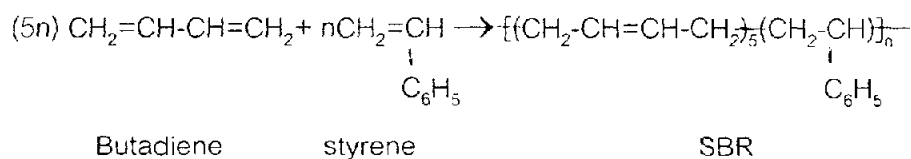
เนื่องจาก IR มีสูตรโครงสร้างเหมือนกับยางธรรมชาติเป็น cis - 1, 4-polyisoprene ดังนั้น IR จึงมีสมบัติคล้ายกับยางธรรมชาติมาก ประโยชน์ในการใช้งานก็คล้ายกัน เช่น ทำยางรถยนต์ ท่อยาง หุ่นมยาง สำหรับเด็กและยางที่ใช้กับเครื่องจักรกลต่าง ๆ

### 2.1.2.2 Polybutadiene (BR)



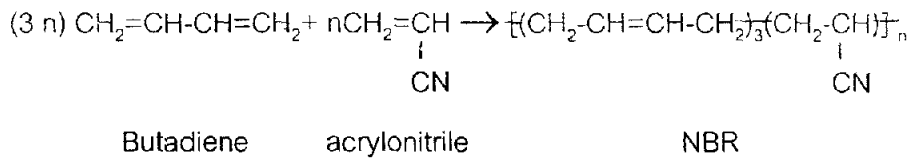
BR มีสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดีมาก ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์

### 2.1.2.3 Styrene-butadiene copolymer (SBR)



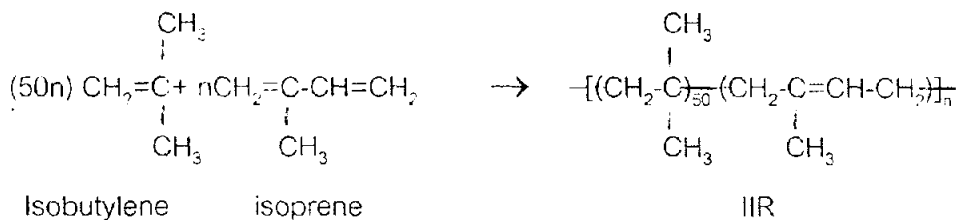
SBR เป็น copolymer ของ butadiene กับ styrene โดยใช้ butadiene มากกว่าร้อยละ 50 copolymer จะมีสมบัติเป็นยาง แต่ถ้าใช้ styrene มากกว่าร้อยละ 50 copolymer ที่ได้จะมีสมบัติเป็นพลาสติก ซึ่งใช้ทำสีพลาสติก (latex paint) SBR มีสมบัติที่สำคัญคือ ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี (high abrasion resistance) ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ประเภทยางรถยนต์นั่งธรรมดาและยางเรเดียล ทำสายพาน ท่อยาง ยางพื้นและเส้นรองเท้า

#### 2.1.2.4 Acrylonitrile-butadiene rubber หรือ Nitrile rubber (NBR)



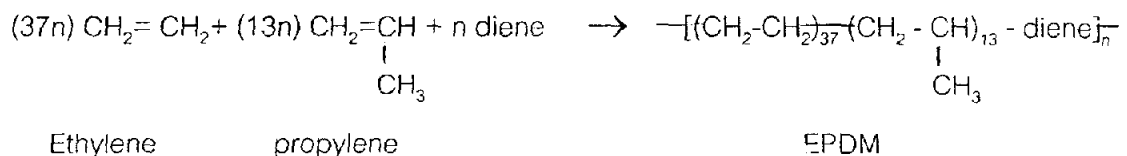
NBR มีสมบัติทนทานต่อน้ำมันและสารเคมีต่าง ๆ จึงใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ อุปกรณ์การพิมพ์ อุปกรณ์ไฟฟ้า

#### 2.1.2.5 Isobutylene-isoprene copolymer หรือ Butyl rubber (IIR)



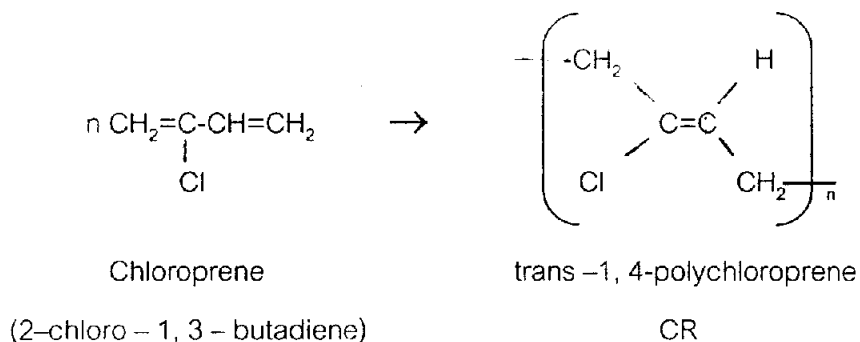
IIR เป็น copolymer ของ Isobutylene กับ isoprene ร้อยละ 2-3 เพื่อให้โครงสร้างมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (double bond) ร้อยละ 2-3 ซึ่งพันธะที่ไม่อิ่มตัวนี้ทำให้ IIR สามารถเกิดการคงรูป (vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ IIR มีสมบัติพิเศษคือสามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ดี และทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีด้วย ประโยชน์ใช้ทำยางในรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีด้วย

#### 2.1.2.6 Ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM)



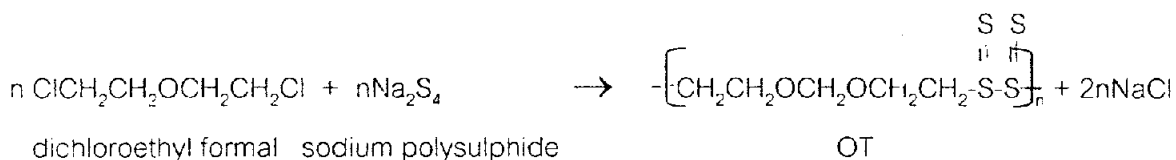
EPDM จะมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (double bond) อยู่ร้อยละ 2-3 จึงสามารถทำให้คงรูป (vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ diene ที่ใช้เช่น butadiene, cyclopentadiene, dicyclopenta diene และ 1-4 hexadiene เป็นต้น EPDM มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม ความร้อนและสารเคมีต่าง ๆ ประโยชน์ทำอย่างสำหรับรถยนต์ ยางขอบกระจก ขอบประตูรถยนต์ หุ้มสายไฟฟ้า สายเคเบิล สายพานลำเลียง

## 2.1.2.7 Polychloroprene หรือ Neoprene (CR)



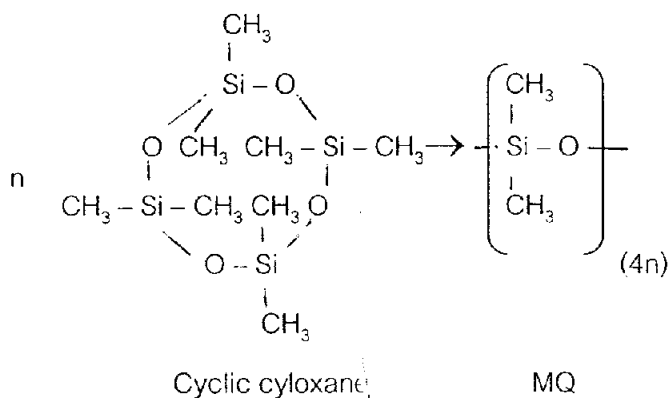
CR มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม น้ำมันและความร้อนได้ดี และมีสมบัติเชิงกลดี ประโยชน์ทำท่อ ยาง สายพาน หุ้มสายเคเบิล ยางชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและยางชิ้นส่วนยานยนต์

## 2.1.2.8 Polysulphide rubber หรือ Thiokol (OT)



OT เตรียมได้จาก condensation polymerization ของ organic dihalide กับ alkaline polysulphide มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมและน้ำมันได้ดี ประโยชน์ใช้เคลือบด้านในของถังน้ำมันทำซีเมนต์ ทำ sealant และลูกกอล์ฟสำหรับงานพิมพ์

## 2.1.2.9 Silicone rubber หรือ Polysiloxanes (MQ)

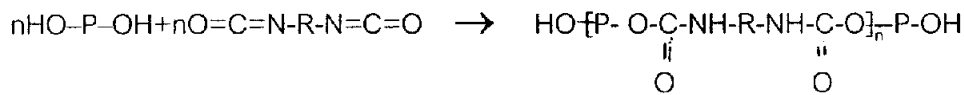


MQ เป็น inorganic-organic polymer มีราคาแพง มีสมบัติทนความร้อนได้สูงมาก ไม่ละลายในน้ำ และแอลกอฮอล์ ทนสารเคมี ติดไฟยากและไม่เป็นพิษ ใช้ประโยชน์ อาทิ ทำสายพาน สำหรับลำเลียง-อาหาร จุกขวดยา หุ่นมสำหรับเด็ก

### 2.1.2.10 Urethane rubber หรือ Polyurethane (AU)

Polyurethane เตรียมจากปฏิกิริยาของ Polyglycols เช่น polyether  $\text{HO}[\text{R}-\text{O}]_n\text{H}$ , polyester

$\text{HORO}[\text{C}-\text{R}-\text{C}-\text{ORO}]_n\text{H}$  (R = alkyl group, n = 10-50) กับ organic diisocyanates ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



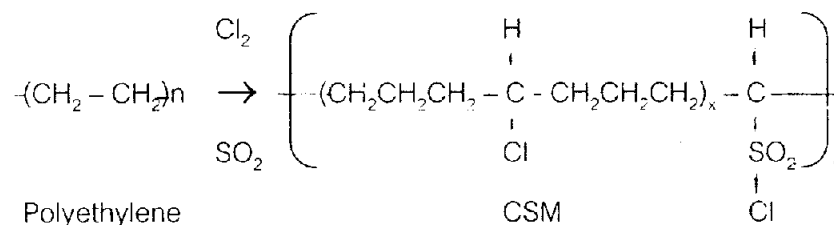
n = 50-100

p = ether หรือ ester group

polyglycol      diisocyanate      AU

Urethane rubber มีสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ทนความร้อน ทนตัวทำละลาย ทนออกซิเจน ทนโอโซน ประโยชน์ใช้ทำยางตัน flexible foam และ elastic fibres

### 2.1.2.11 Chlorosulfonated polyethylene หรือ Hypalon (CSM)



Polyethylene

CSM

X = ~12

Y = ~17

CSM มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม ทนความร้อน ทนสารเคมี ทนน้ำมันและทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ใช้ทำสายพานลำเลียง อุปกรณ์รถยนต์

นอกเหนือจากยาง 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ยังมียางอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เพราะเป็นการนำยางที่เสียแล้วกลับมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางได้ใหม่อีก คือ reclaimed rubber การ recycle ยางเก่าจะช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมด้วย

### 2.1.2.12 Reclaimed rubber

เป็นยางที่ได้จากการนำยางที่เสีย ยางที่ใช้จนหมดสภาพแล้วกลับมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้พลังงานกล พลังงานความร้อนและกระบวนการทางเคมี ทำให้พันธะที่เชื่อมข้าม chain ของยางแตก

ออก ซึ่งเรียกว่า devulcanization ทำให้ยางกลับมีสภาพเหมือนกับยางดิบอีกครั้งหนึ่ง สามารถนำไปใช้ผสมในอัตราส่วนประมาณ 10-30 ส่วนต่อยางใหม่ 100 ส่วน เพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางต่อไปได้

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

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

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

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

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

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

### 2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป (Vulcanization accelerators)

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

### 2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป (Accelerator activators)

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

### 2.2.4 สารหน่วงปฏิกิริยายางคงรูป (Retarders)

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

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

### 2.2.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antioxidants)

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

### 2.2.6 สารเติมแต่งสมบัติยาง (Fillers)

ได้แก่สารที่ใส่ลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามความต้องการ หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น หรือเพื่อลดต้นทุน

fillers แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ reinforcing filler และ extending filler

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

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

### 2.2.7 สารทำปฏิกิริยาให้ยางนิ่ม (Peptizers)

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

### 2.2.8 สารช่วยให้ยางนิ่ม (Plasticizers หรือ Softeners)

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

### 2.2.9 ผงสี (Pigments)

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

### 2.2.10 สารทำให้ยางเกิดรูพรุน (Blowing agents)

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

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

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

สูตรพื้นฐานของยาง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ในอัตราส่วน ดังนี้

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

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

กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากยาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

### 2.4.1 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

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



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

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

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

#### 2.4.2 การขึ้นรูปยาง (Forming)

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

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

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

2.4.2.3 Extruding เป็นการอัดดันยางคอมปาวด์ที่ถูกทำให้อ่อนตัวผ่าน die โดยใช้เครื่องอัดดันยางที่เรียกว่า Extruder ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะ หน้าตัดมีขนาดเล็กแต่มีความยาวมาก (profile) เช่น ยางในรถยนต์ สายยาง ยางขอบกระจกและขอบประตูรถยนต์ เป็นต้น

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

### 2.4.3 การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing)

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

ปฏิกิริยายางคงรูปจะเกิดได้สมบูรณ์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ

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

2.4.3.2 อุณหภูมิและเวลาที่เกิดปฏิกิริยายางคงรูปซึ่งต้องเหมาะสมกับสารเคมีที่ใช้ในข้อ

2.4.3.1 ด้วย

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

2.5 วัตถุดิบยางที่ใช้ในการผลิตยางขึ้นส่วนยานยนต์ นอกจากจะใช้ยางธรรมชาติแล้ว ยางขึ้นส่วนยานยนต์บางชนิดอาจจำเป็นต้องใช้ยางสังเคราะห์ในการผลิตถึงแม้จะมีราคาแพงกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากยางสังเคราะห์มีสมบัติบางประการที่ดีกว่ายางธรรมชาติ คือมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมและความทนทานต่อน้ำมันได้ดีกว่ายางธรรมชาติ ดังนั้นยางขึ้นส่วนยานยนต์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน หรือมีโอกาสที่จะสัมผัสกับน้ำมันและต้องมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมด้วย จึงมักผลิตจากยางสังเคราะห์ แต่ก็จะต้องเลือกชนิดของยางสังเคราะห์ให้เหมาะสมด้วย

สำหรับการศึกษาทดลองนี้ เนื่องจากยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่ต้องการผลิต เป็นขึ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันหรืออาจจะสัมผัสกับน้ำมันเป็นครั้งคราว และต้องการให้มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมด้วย จึงใช้ยางนีโอพรีน (neoprene) ในการศึกษาทดลองนี้

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบยาง และสารเคมี

- 3.1.1 วัตถุดิบยาง ไซยางนีโอพรีน โดยใช้ Bayprene 210 ซึ่งเป็นยางนีโอพรีนเกรดพิเศษ (special type) ของบริษัทไบเออร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.1.2 สารเติมแต่งสมบัติยาง ใช้
- carbon black ชนิด
    - SRF black (Semi-reinforce furnace black)
    - FEF black (Fine extrusion furnace black)
    - HAF black (High abrasion furnace black)
  - calcium carbonate
  - white clay ใช้ China clay
- 3.1.3 สารช่วยให้ยางนิ่ม ใช้ aromatic oil
- 3.1.4 สารช่วยให้สารเคมีเข้ากับยาง (processing aid) ใช้ WB 16 และ WB 212 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.1.5 สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป ใช้ stearic acid และ magnesium oxide
- 3.1.6 สารทำปฏิกิริยายางคงรูป ใช้ zinc oxide, magnesium oxide และ zinc oxide active
- 3.1.7 สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป ใช้
- ethylene thiourea ใช้ ETU – 80 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
  - tetramethyl thiuram disulphide (TMTD) ใช้ TT ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด และ vulcacit thiuram/c ของบริษัทไบเออร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.1.8 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ ใช้
- octylated diphenylamine ใช้ RD ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
  - 810 NA ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด
  - vulcanox OCD/SG ของบริษัทไบเออร์ (ประเทศไทย) จำกัด
  - parafin wax

### 3.2 เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์

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

### 3.3 วิธีการทดลอง และผลการทดลอง

#### 3.3.1 สูตรยาง

จากการศึกษา ค้นคว้าเอกสารและตำราทางวิชาการที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางขึ้นส่วนยานยนต์ ได้พบสูตรยางเบื้องต้น (empirical formular) ที่มีสมบัติเชิงกลต่างๆ ใกล้เคียงกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่ต้องการศึกษาทดลอง จึงได้นำสูตรยางดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทดลองนี้

#### สูตรยางเบื้องต้น

Neoprene W	100
SRF black	58
Magnesia	4.0
Stearic acid	0.5
Octylated diphenylamine (ODPA)	2.0
Aromatic oil	10
Zinc oxide	5.0
Ethylene thiourea (ETU)	0.5
Tetramethyl thiuramdimphide (TMTD)	0.75

(cured 20 minutes at 160°C)

สมบัติเชิงกลของยางตามสูตรยางเบื้องต้น<sup>(1)</sup>

ความแข็ง (durometer hardness), Shore A	=	63
ความต้านแรงดึง (tensile strength), MPa	=	19.66
ความยืดขณะขาด (elongation at break), %	=	350
ความต้านแรงฉีก (tear strength), kN/m	=	42

เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 168 hr.

(accelerated aging 168 hr. at 121°C)

- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	=	- 7
(change in durometer hardness)		
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	=	+ 9
(change in tensile strength)		
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลง, %	=	+ 50
(change in elongation at break)		

การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 22 hr, % = 28

(compression set 22 hr. 100°C)

โดยเริ่มจากสูตรยางเบื้องต้นเป็นแนวทาง ได้ทำการศึกษาทดลองปรับปรุงสูตรยางต่าง ๆ จากสูตรยางที่ 1 จนถึงสูตรยางที่ 6 ตามลำดับ ดังนี้

#### สูตรยางที่ 1

Bayprene 210	100
SRF black	58
Magnesium oxide	4
Stearic acid	1.5
Vulconox OCD/SG	2.0
Aromatic oil	10
Zinc oxide	5.0
ETU – 80	0.5
Vulcacil Thiuram/C	0.75

(cured 20 minutes at 160°C)

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 1 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน<sup>(8)</sup> และสูตรยางเบื้องต้น

สมบัติเชิงกล	สูตรยางที่ 1	เกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน	สูตรยางเบื้องต้น
ความแข็ง, Shore A	61	60 ± 5	63
ความต้านแรงดึง, MPa	16.5	min 9.8	19.66
ความยืดหยุ่น, %	300	min 350	350
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.			
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 6	max + 15	-
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 16	max - 15	-
- ความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง, %	- 42	max - 40	-
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.			
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %			
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	- 2	- 10 to + 10	-
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	+ 32	+ 40 to + 110	-
ความทนแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hrs,%	35	max 50	-
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 168 hrs.			
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 9	--	- 7
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 18	--	+ 9
- ความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง,%	- 54	--	- 50
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 22 hrs,%	48	--	25

เครื่องหมาย " - " หมายถึง สูตรยางเบื้องต้นไม่ได้กำหนดค่าไว้

เครื่องหมาย " -- " หมายถึง เกณฑ์กำหนดมาตรฐานไม่ได้กำหนดค่าไว้

สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลของเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานและของสูตรยางเบื้องต้น แต่ยังมีสมบัติเชิงกล คือความยืดหยุ่น และเร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs. (ความต้านแรงดึงฯ และความยืดหยุ่นฯ) ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน

## สูตรยางที่ 2

	สัญลักษณ์					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Bayprene 210	100	100	100	100	100	100
SRF black	70	70	70	70	70	70
Calcium carbonate	10	10	10	10	10	10
Aromatic oil	8	8	8	8	8	8
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
Paraffin wax	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
WB 16	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
WB 212	1	1	1	1	1	1
PVI	1	1	1	1	1	1
RD	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
810 NA	15	15	15	15	15	15
Magnesium oxide	1	2	3	4	5	6
Zinc oxide	5	5	5	5	5	5
ETU 80	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
TT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

สูตรยางที่ 2 ได้ปรับปรุงมาจากสูตรยางที่ 1

ได้ทำการทดลองปรับปริมาณ magnesium oxide จาก 1-6 phr. เพื่อศึกษาผลของ magnesium oxide ที่มีต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ภาคผนวก ก (รูปที่ 1-6)

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 2

สมบัติเชิงกล	สัญลักษณ์					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
ความแข็ง, Shore A	63	64	63	63	63	63
โมดูลัสที่ความยืด 300%, MPa	-	11.9	11.3	12.7	12.6	14.8
ความต้านแรงดึง, MPa	15.9	15.7	14.5	14.6	15.4	16.0
ความยืดขณะขาด, %	421	390	397	360	376	336
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.						
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+ 5	+ 6	- 6	+ 6	+ 5	+ 9
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	- 3.1	+ 0.4	- 5.8	- 1.3	+ 5.5	- 8.1
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	- 30.1	- 27.5	- 30.3	- 28.7	- 32.2	- 30.7
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.						
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %						
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	-	-	-	-	-	-
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	-	-	-	-	-	-
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C	40.0	31.26	30.5	27.3	42.0	26.3
เวลา 22 hrs., %						
ความต้านแรงฉีก, N/mm	62.1	0.8	58.6	51241	57.3	52.0
เวลาที่ยางคงรูป ที่ 180°C, นาที	4.94	4.90	4.88	4.77	4.66	4.50

อัตราเร็วของปฏิกิริยายางคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เพิ่มเร็วขึ้นตามปริมาณของ magnesium oxide ที่เพิ่มมากขึ้น

สมบัติเชิงกลของสูตรยาง M1 M3 M4 และ M6 อยู่ในเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน ส่วนสูตรยาง M12 และ M15 สมบัติเชิงกลด้านเร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 70 hrs. ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง ไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน



สูตรยางที่ 3

	สัญลักษณ์						
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Bayprene 210	100	100	100	100	100	100	100
SRF black	70	70	70	70	70	70	70
Calcium carbonate	10	10	10	10	10	10	10
Aromatic oil	8	8	8	8	8	8	8
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1
Paraffin wax	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
WB 16	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
WB 212	1	1	1	1	1	1	1
PVI	1	1	1	1	1	1	1
RD	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
810 NA	15	15	15	15	15	15	15
Magnesium oxide	4	4	4	4	4	4	4
Zinc oxide	1	2	3	4	5	6	7
ETU 80	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
TT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

สูตรยางที่ 3 ได้ทดลองปรับปริมาณ zinc oxide จาก 1-7 phr. เพื่อศึกษาผลของ zinc oxide ที่มีต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ภาคผนวก ก (รูปที่ 7-13)

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 3

สมบัติเชิงกล	สัญลักษณ์						
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
ความแข็ง, Shore A	68	67	67	69	67	67	67
โมดูลัสที่ความยืด 300%, MPa	15.2	13.6	11.7	13.5	14.0	11.8	13.1
ความต้านแรงดึง, MPa	15.4	15.1	14.9	15.1	14.8	14.3	14.8
ความยืดขณะขาด, %	307	345	341	357	356	370	345
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.							
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+7	+7	+7	+5	+3	+5	+5
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	-0.1	-2.0	-2.1	-3.6	-5.4	+10.0	+5.1
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	-25.7	-35.7	-35.7	-34.2	-35.1	-37.7	-29.7
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.							
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %							
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	-	-	-	-	-	-	-
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	-	-	-	-	-	-	-
การยุบตัวจากแรงอัดอุณหภูมิ 70°C	34.5	45.8	33.7	37.5	31.0	28.3	25.9
เวลา 22 hrs, %							
ความต้านแรงฉีก, N/mm	55.1	51.9	59.7	55.0	51.1	54.9	52.1
เวลาที่ยางคงรูป ที่ 180°C, นาที	4.91	4.89	4.89	4.88	4.86	4.81	4.73

อัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ zinc oxide ที่เพิ่มมากขึ้น สมบัติเชิงกลความแข็งเพิ่มมากขึ้น และความยืดขณะขาดของสูตรยาง Z1 Z2 Z3 และ Z7 จะต่ำกว่าข้อกำหนดของมาตรฐาน

## สูตรยางที่ 4

	สัญลักษณ์		
	T1	T2	T3
Bayprene 210	100	100	100
SRF black	70	70	70
Calcium carbonate	10	10	10
Aromatic oil	8	8	8
Stearic acid	1	1	1
Paraffin wax	1.5	1.5	1.5
WB 16	2.5	2.5	2.5
WB 212	1	1	1
PVI	1	1	1
RD	1.5	1.5	1.5
810 NA	1.5	1.5	1.5
Magnesium oxide	4	4	4
Zinc oxide	5	5	5
ETU 80	0.5	0.5	0.5
II	1	1.5	2

สูตรยางที่ 4 ได้ทดลองปรับปริมาณ TT จาก 1-2 phr. เพื่อศึกษาผลของ TT ที่มีต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาทางคงรูป ภาคผนวก ก (รูปที่ 14-16)

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 4

สมบัติเชิงกล	สัญลักษณ์		
	T1	T2	T3
ความแข็ง, Shore A	66	66	66
โมดูลัสที่ความยืด 300%, MPa	12.7	12.6	10.6
ความต้านแรงดึง, MPa	14.5	15.2	14.4
ความยืดขณะขาด, %	340	365	415
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.			
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไป, Shore A	+ 5	+ 4	+ 4
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไป, %	+ 5.7	+ 0.7	- 1.0
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลงไป, %	- 22.2	- 20.9	- 6.9
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs.			
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %			
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	-	-	-
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	-	-	-
การยุบตัวจากแรงอัดอุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hrs, %	21.7	28.0	43.9
ความต้านแรงฉีก, N/mm	54.2	53.7	54.3
เวลาที่ยางคงรูป ที่ 180°C, นาที	4.85	4.60	4.31

อัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ที่อุณหภูมิ 180°C เพิ่มเร็วขึ้นตามปริมาณของ TT ที่เพิ่มมากขึ้น สมบัติเชิงกลของสูตรยาง T1 คือความยืดขณะขาด และความต้านแรงดึงหลังเร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs. ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนสูตรยาง T2 ความต้านแรงดึงหลังเร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hrs. ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

## สูตรยางที่ 5

Bayprene 210	100
HAF black	40
Calcium carbonate	20
China clay	20
Aromatic oil	20
WB 212	1.0
PVI	1.0
RD	1.0
810 NA	1.0
Paraffin wax	1.5
Stearic acid	1.0
Magnesium oxide	4.0
Zinc oxide	5.0
ETU-80	1.0
TT	0.5

ทำให้อย่างคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 5 นาที (cured 5 minutes at 180°C)

ได้ปรับปรุงมาจากสูตรยางที่ 2 โดยใช้ปริมาณ magnesium oxide, zinc oxide และ TT = 4.0, 5.0 และ 0.5 phr. ตามลำดับ

ได้รับเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเคมีบางชนิด เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลดียิ่งขึ้น และต้นทุนไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 5 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน

สมบัติเชิงกล	สูตรยางที่ 5	เกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน
ความแข็ง, Shore A	60	$60 \pm 5$
ความต้านแรงดึง, MPa	16.7	min 9.8
ความยืดหดขนาด, %	390	min 350
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 5	max + 15
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 10.6	max - 15
- ความยืดหดขนาดเปลี่ยนแปลง, %	- 21	max - 40
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %		
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	+ 3.0	- 10 to + 10
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	+ 36	+ 40 to + 110
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hr,%	30.2	max 50

สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 5 ความแข็ง 60shore A เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน

## สูตรที่ 6, 7 และ 8

สูตรยางที่	6	7	8
Bayprene 210	100	100	100
HAF black	15	30	45
Calcium carbonate	20	20	20
China clay	20	20	20
Aromatic oil	30	25	15
WB 212	1.0	1.0	1.0
PVI	1.0	1.0	1.0
RD	1.0	1.0	1.0
810 NA	1.0	1.0	1.0
Paraffin wax	1.5	1.5	1.5
Stearic acid	1.0	1.0	1.0
Magnesium oxide	4.0	4.0	4.0
Zinc oxide	5.0	5.0	5.0
ETU – 80	1.0	1.0	1.0
TT	0.5	0.5	0.5

(cured 5 minutes at 180°C)

ได้ปรับปรุงสูตรยางที่ 5 เพื่อให้ได้ยางที่มีความแข็ง 40, 50 และ 70 Shore A โดยปรับปรุงปริมาณสารเติมแต่งสมบัติยาง และปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่ม ดังต่อไปนี้

สูตรยางที่	ความแข็ง, Shore A	ปริมาณสารเติมแต่งสมบัติยาง HAF black, phr.	ปริมาณสารช่วยให้ยางนิ่ม Aromatic oil, phr.
6	40	ปรับลดจาก 40 เป็น 15	ปรับเพิ่มจาก 20 เป็น 30
7	50	ปรับลดจาก 40 เป็น 30	ปรับเพิ่มจาก 20 เป็น 25
8	70	ปรับเพิ่มจาก 40 เป็น 45	ปรับลดจาก 20 เป็น 15

ตารางที่ 6 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 6 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน<sup>(6)</sup>

สมบัติเชิงกล	สูตรยางที่ 6	เกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน
ความแข็ง, Shore A	42	40 ± 5
ความต้านแรงดึง, MPa	11.1	min 9.8
ความยืดหยุ่นขาด, %	520	min 500
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 8	max + 15
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 13.0	max - 15
- ความยืดหยุ่นขาดเปลี่ยนแปลง, %	- 30.4	max - 40
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %		
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	+ 8	- 10 to + 15
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	+ 33	+ 50 to + 120
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hr.%	38	max 65

สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 6 ความแข็ง 42 Shore A เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน



ตารางที่ 7 สมบัติเชิงกลของลูตริยางที่ 7 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน<sup>(6)</sup>

สมบัติเชิงกล	ลูตริยางที่ 7	เกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน
ความแข็ง, Shore A	53	50 ± 5
ความต้านแรงดึง, MPa	14.7	min 9.8
ความยืดขนาด, %	410	min 350
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 6	max + 15
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 12.0	max - 15
- ความยืดขนาดเปลี่ยนแปลง, %	- 22.0	max - 40
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %		
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	+ 8	- 10 to + 15
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	+ 32	+ 40 to + 110
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hr,%	36	max 60

สมบัติเชิงกลของลูตริยางที่ 7 ความแข็ง 53 Shore A เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน

ตารางที่ 8 สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 8 เปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน<sup>(6)</sup>

สมบัติเชิงกล	สูตรยางที่ 8	เกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน
ความแข็ง, Shore A	68	70 ± 5
ความต้านแรงดึง, MPa	16.0	min 9.8
ความยืดขณะขาด, %	290	min 250
เร่งอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A	+ 5	max + 15
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %	- 10.3	max - 15
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลง, %	- 32.0	max - 40
ความทนน้ำมันที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr		
- ปริมาตรเปลี่ยนแปลงไป, %		
น้ำมันเบอร์ 1 (oil No.1)	+ 3.5	- 5 to + 10
น้ำมันเบอร์ 3 (oil No.3)	+ 31	+ 30 to + 110
การยุบตัวจากแรงอัดที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 22 hr, %	34	max 50

สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 8 ความแข็ง 68 Shore A เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน

### 3.3.2 การทำยางคงรูป

- (1) ชั่งยางและสารเคมีที่เป็นประกอบตามสูตร (ในข้อ 3.3.1) ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 กรัม
- (2) นำยางไปบดบน two-rolls mill เพื่อให้ยางอ่อนตัวและเกาะบนผิวลูกกลิ้งลูกหน้าของ two-rolls mill
- (3) ผสมสารเคมีต่าง ๆ ตามลำดับในสูตรให้เข้ากับยางเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)
- (4) วัลติยางที่ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วที่เรียกว่ายางคอมปาวด์ (compound rubber) ให้มีความหนามากกว่าแบบแม่พิมพ์เล็กน้อย
- (5) ตัดตัวอย่างยางประมาณ 20 กรัม นำไปเข้าอัตราการคงรูปของยางด้วยเครื่อง rheometer
- (6) นำยางคอมปาวด์ไปเข้าแบบแม่พิมพ์เพื่อทำให้เป็นยางคงรูปบน hydraulic press with heated plates โดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่หาได้จากเครื่อง rheometer
- (7) แกะยางออกจากแบบแม่พิมพ์

### 3.3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคงรูป

ยางคงรูปที่ได้จะต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 1 วัน แต่ไม่ควรเกิน 4 วัน แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ดังต่อไปนี้

- (1) ความแข็ง (durometer hardness)
- (2) โมดูลัสที่ความยืด 300% (modulus at 300% elongation)
- (3) ความต้านแรงดึง (tensile strength)
- (4) ความยืดขณะขาด (elongation at break)
- (5) ความต้านแรงฉีก (tear strength)
- (6) เร่งอายุการใช้งาน (accelerated aging)
- (7) ความทนน้ำมัน (oil resistance)
- (8) การยุบตัวจากแรงอัด (compression set)

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สูตรยางที่ 1

4.1.1 ได้ทำการศึกษาทดลองโดยอาศัยสูตรยางเบื้องต้นเป็นหลัก ได้ทำตามทั้งสูตรยาง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางคงรูป

4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลสูตรยางที่ 1 (ตารางที่ 1) ปรากฏว่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับเอกสารที่อ้างอิง แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานยางขึ้น ส่วนรตจักรยายนต์ ความแข็ง 60 Shore A พบว่าสมบัติเชิงกลด้านความยืดหยุ่น และแรงอายุการใช้งานที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 hr. ยังแตกต่างกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน และราคาต้นทุนของยางตามสูตรยางที่ 1 นี้ยังสูงเกินไปในเชิงพาณิชย์

#### 4.2 สูตรยางที่ 2

4.2.1 ปรับปรุงมาจากสูตรยางที่ 1 ดังนี้

สารเคมี	สูตรยางที่ 1	สูตรยางที่ 2	เหตุผล
- สารเติมแต่ง สมบัติยาง	- SRF Black	- เพิ่มปริมาณ SRF Black calcium carbonate	- เพิ่มสมบัติเชิงกล - ลดต้นทุน
- สารป้องกันยางเสื่อม	- Vulcanox OCD/SG	- RD 810 NA paraffin wax	- ช่วยเพิ่มความทนทานต่อความร้อน โอโซนและสภาวะแวดล้อม
- สารช่วยให้สารเคมีเข้ากับยาง	- ไม่ใช่	- WB 16 WV 211	- ให้การผสมงานและเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ
- สารหน่วงปฏิกิริยายางคงรูป	- ไม่ใช่	- PVI	- ช่วยให้ Processing safety
- สารทำปฏิกิริยายางคงรูป	- Magnesium Oxide 4 phr.	- Magnesium Oxide 1-6 phr.	- เพื่อศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยา คงรูป

4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 2 (ตารางที่ 2) ปรากฏว่าเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ความแข็ง 60 Shore A ทุกรายการ

4.2.3 การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป (รูปที่ 1-6)

ได้ทดลองปรับปริมาณ magnesium oxide จาก 1-6 phr. พบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูปเร็วขึ้นตามปริมาณของ magnesium oxide ที่เพิ่มขึ้น

#### 4.3 สูตรยางที่ 3

4.3.1 เพื่อศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป (รูปที่ 7-13)

สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบใช้เช่นเดียวกับสูตรยางที่ 2 แต่ทดลองปรับปริมาณสารทำปฏิกิริยาอย่างคงรูปคือ zinc oxide จาก 1-7 phr. พบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูปเร็วขึ้นตามปริมาณของ zinc oxide ที่เพิ่มขึ้น

#### 4.4 สูตรยางที่ 4

5.4.1 เพื่อศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป (รูปที่ 14-16)

สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบใช้เช่นเดียวกับสูตรยางที่ 2 แต่ทดลองปรับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป คือ TT จาก 1 เป็น 1.5 และ 2 phr. พบว่าปริมาณ TT มีผลโดยตรงต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูป

#### 4.5 สูตรยางที่ 5

4.5.1 ได้ปรับปรุงมาจากสูตรยางที่ 2 ดังนี้

สารเคมี	สูตรยางที่ 2	สูตรยางที่ 5	เหตุผล
- สารเติมแต่งสมบัติยาง	- SRF black Calcium carbonate	- HAF black Calcium carbonate (เพิ่มปริมาณขึ้น) China clay	- เพิ่มสมบัติเชิงกล - ลดต้นทุน
- สารช่วยให้ยางนิ่ม	- Aromatic oil	- Aromatic oil (เพิ่มปริมาณขึ้น)	- ลดความแข็งของยางลง
- สารช่วยให้สารเคมีเข้ากับยาง	- WB 16 WB 212	- WB 212	- ลดต้นทุน

4.5.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 5 (ตารางที่ 5) ปรากฏว่าสมบัติเชิงกลเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ความแข็ง 60 Shore A ทุกรายการ

#### 4.6 สูตรยางที่ 6, 7 และ 8

4.6.1 เป็นการปรับปรุงสูตรยางที่ 5 เพื่อให้ได้ยางที่มีความแข็ง 40, 50 และ 70 Shore A โดยการปรับปริมาณสารเติมแต่งสมบัติยางและสารช่วยให้ยางนิ่ม

4.6.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ 6, 7 และ 8 (ตารางที่ 6, 7 และ 8) ปรากฏว่ามีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ความแข็ง 40, 50 และ 70 Shore A ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 การเลือกชนิดของยาง

การเลือกใช้ชนิดของยางที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรก เพราะยางแต่ละชนิดก็จะมีสมบัติแตกต่างกันออกไป ในการเลือกชนิดของยางต้องพิจารณาจากชนิดของผลิตภัณฑ์ การใช้งาน เกณฑ์-กำหนดตามมาตรฐาน ฯลฯ

ในการศึกษาทดลองนี้ต้องการทำยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ซึ่งต้องการความคงทนต่อการใช้งาน มีสมบัติเชิงกลดี และทนต่อน้ำมันต่าง ๆ พอสมควร ซึ่งสมบัติเหล่านี้ตรงกับสมบัติของยางนีโอพรีน ดังนั้นจึงใช้ยางนีโอพรีนในการศึกษาทดลอง ครั้งนี้

#### 5.2 การกำหนดแนวทางการศึกษาทดลอง

เนื่องจากการศึกษาทดลองนี้ต้องการทำยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่มีค่าความแข็ง 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 Shore A ดังนั้นจึงควรพิจารณาเสียก่อนว่าจะเริ่มศึกษาทดลองที่ค่าความแข็งเท่าใดก่อน

เป็นที่ทราบกันทั่วไปสำหรับผู้ที่อยู่ในอุตสาหกรรมยางว่า ยางที่มีความแข็งต่ำหรือสูงเกินไปนั้น การศึกษาทดลองเพื่อหาสูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมจะทำได้ยากกว่ายางที่มีความแข็งกลาง ๆ ดังนั้น การศึกษาทดลองนี้จึงเริ่มต้นจากค่าความแข็ง 60 Shore A ก่อน

#### 5.3 ผลจากการศึกษาทดลอง

ได้สูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตยางขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ คือสูตรยางที่ 5, 6, 7 และ 8 ซึ่งมีความแข็ง 60, 40, 50 และ 70 Shore A ตามลำดับ และสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ยางคงรูปคืออุณหภูมิ 180°C เวลา 5 นาที ซึ่งสามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ โดยมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น<sup>(๑)</sup>

## คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท คอมพลีท โอโตรับเบอร์ จำกัด ที่เชื้อเพื่อ ยาง สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ และได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการศึกษาดลอง



## เอกสารอ้างอิง

1. Anil, K.B.; Malcolm, M.H., and Henry, A.B. Rubber products manufacturing technology; New York: Marcel Dekker, Inc., 1994.
2. Colin, W.E. Practical rubber compounding and processing. London : Applied Science Publishers Ltd., 1981.
3. Colin, W.E. Developments in rubber and rubber composites – 1. London : Applied Science Publishers Ltd., 1980.
4. Mauric, M. Rubber technology. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Van Nostrand Reinhold Company, 1973.
5. Blow, C.M., and Hepburn, C. Rubber technology and manufacture. 2<sup>nd</sup> ed. London : Butterworth Scientific, 1982.
6. Abdul Azizbin, S.A.K. Natural rubber – current developments in product manufacture and applications. Kuala Lumpur : Rubber Research Institute of Malaysia, 1993.
7. Frederick, R.E. Science and technology of rubber. New York : Academic Press Inc., 1978.
8. Japanese Standard Association. Industrial rubber packing materials. JIS K 6380. 1976 (Reaffirmed 1979).
9. Japanese Standard Association. Physical testing methods for vulcanized rubber. JIS K 6301. 1995.
10. พายัพ นามประเสริฐ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ฉบับที่ 128 มกราคม 2535 และฉบับที่ 129 พฤษภาคม 2535.
11. Bament, J.C., and Pillow, J.G. Developments with polychloroprene. UK : Du Pont (UK) Ltd., 1965.

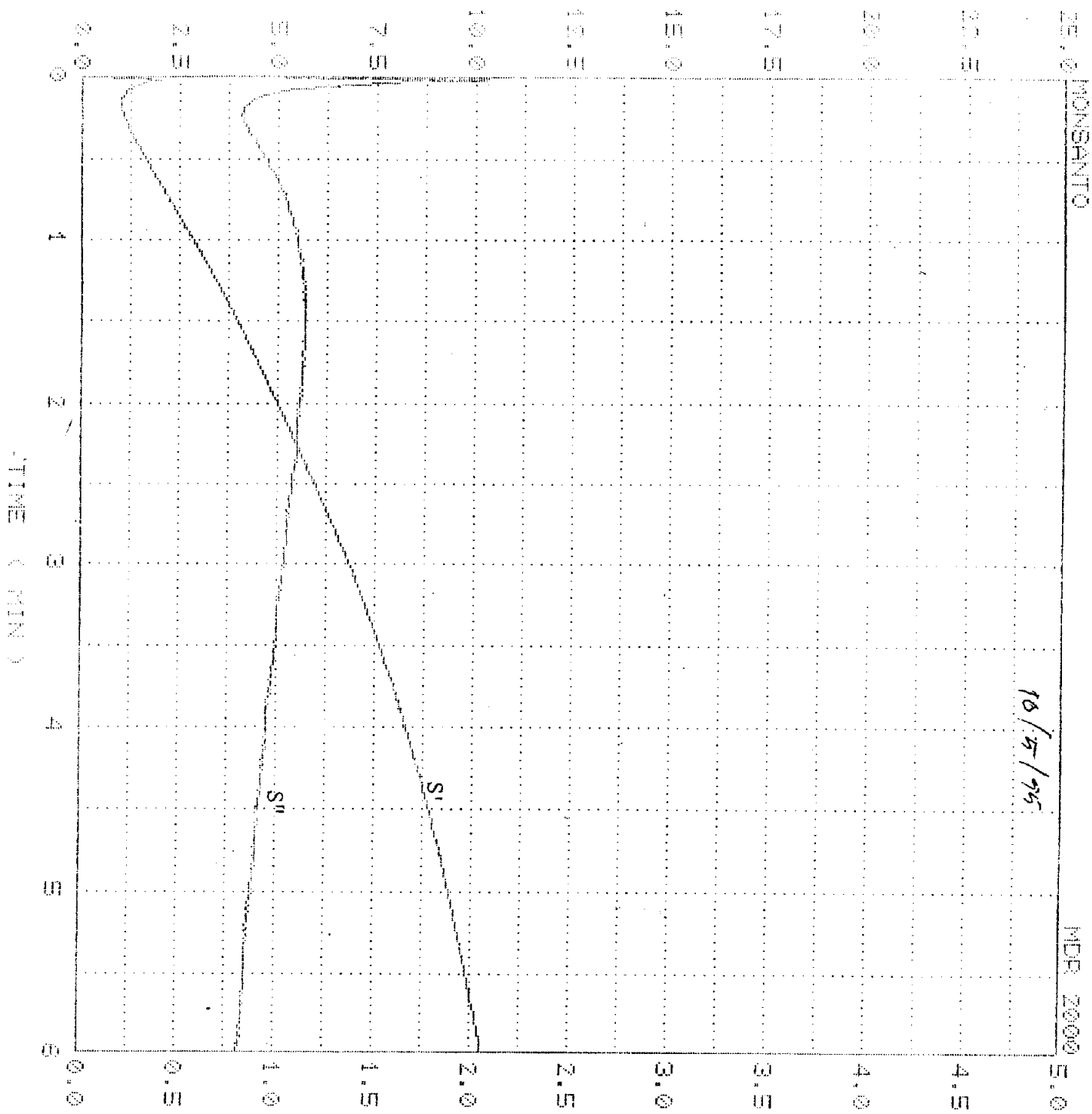
## ภาคผนวก ก

## การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป

## คำอธิบาย

S'	=	กราฟของทอร์กของความยืดหยุ่น (torque of elasticity) กับเวลา
S''	=	กราฟของทอร์กของความหนืด (torque of viscosity) กับเวลา
Temp	=	อุณหภูมิที่ยางเกิดปฏิกิริยาที่อย่างคงรูป
ML	=	Lowest modulus of elasticity
	=	ค่าทอร์กที่ความยืดหยุ่นต่ำสุด (minimum torque of elasticity)
MH	=	Highest modulus of elasticity
	=	ค่าทอร์กที่ความยืดหยุ่นสูงสุด (maximum torque of elasticity)
S''@ ML	=	ค่าทอร์กของความหนืดที่ ML
S''@ MH	=	ค่าทอร์กของความหนืดที่ MH
Tan d @ ML	=	Tan delta at ML
	=	อัตราส่วนของ $\frac{S''}{S'}$ ที่ ML
Tan d @ MH	=	Tan delta at MH
	=	อัตราส่วนของ $\frac{S''}{S'}$ ที่ MH
ts1	=	Scorch time 1
	=	เวลาที่ยางเริ่มเกิดปฏิกิริยาคงรูป จุดที่ 1
	=	เวลาที่ค่าทอร์กของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 1 kg. Cm.
ts2	=	Scorch time 2
	=	เวลาที่ยางเริ่มเกิดปฏิกิริยาคงรูป จุดที่ 2
	=	เวลาที่ค่าทอร์กของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 2 kg. Cm.
T10	=	เวลาที่ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปไป 10%
	=	เวลาที่ค่าทอร์กของความยืดหยุ่นเป็น ML+0.1 (MH-ML)
T50	=	เวลาที่ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปไป 50%
	=	เวลาที่ค่าทอร์กของความยืดหยุ่นเป็น ML+0.5 (MH-ML)
T90	=	เวลาที่ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปไป 90%
	=	เวลาที่ค่าทอร์กของความยืดหยุ่นเป็น ML+0.9 (MH-ML)

1. ทดลองปรับปริมาณ magnesium oxide จาก 1-6 phr. แล้วหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ด้วยเครื่อง Rheometer รุ่น MDR 2000 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด (รูปที่ 1-6)



MONSANTO

MDR 2000

10/5/95

MONSANTO

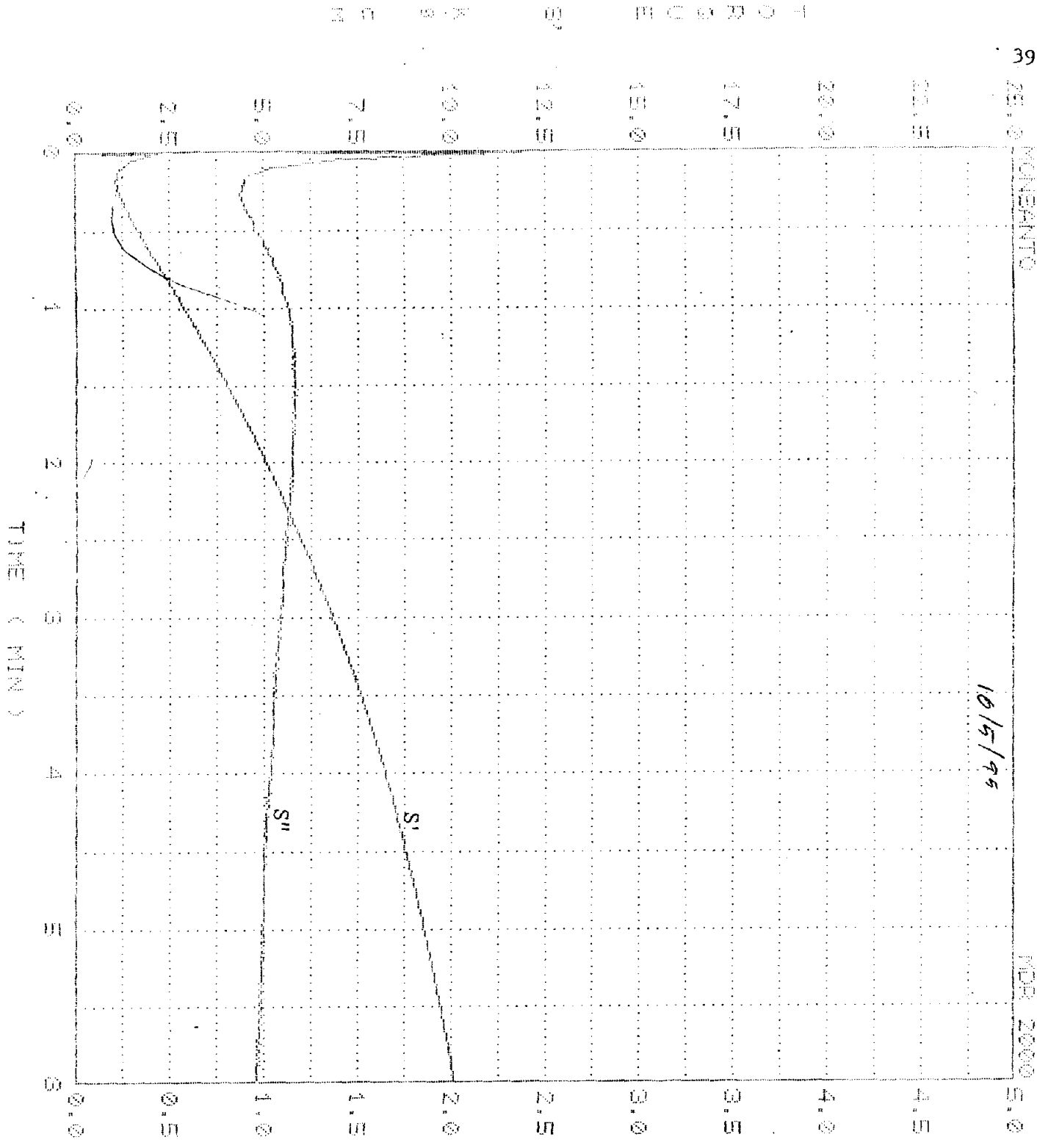
emp: 180.1 C	ML: 1.03 Kg-cm	5" @ML: 0.86 Kg-cm	Tand @ML: 0.835
emp: 180.1 C	MH: 10.32 Kg-cm	5" @MH: 0.83 Kg-cm	Tand @MH: 0.080
	ts1: 0.66 m.m	ts2: 1.08 m.m	
	t50: 2.34 m.m		t90: 4.94 m.m

1 magnesium oxide 1 phr.

KONSAANTO

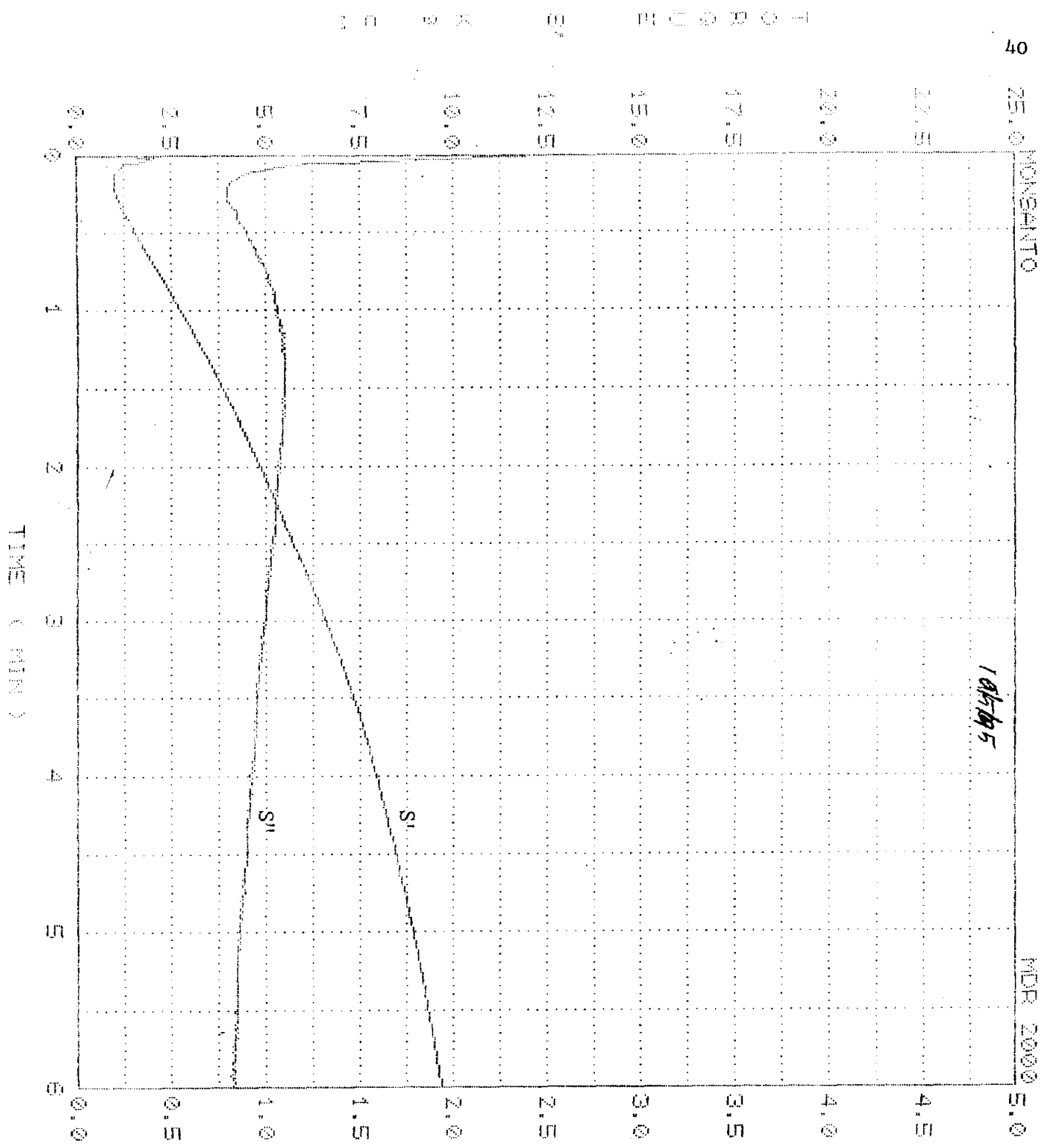
10/5/94

NDR 2000



Temp: 180.3 C	ML: 1.12 Kg-cm	S'' @ML: 0.91 Kg-cm	Tand @ML: 0.813
Temp: 180.3 C	MH: 10.11 Kg-cm	S'' @MH: 0.97 Kg-cm	Tand @MH: 0.096
	tS1: 0.68 m.m	tS2: 1.09 m.m	
0: 0.63 m.m	t50: 2.29 m.m		t90: 4.90 m.m

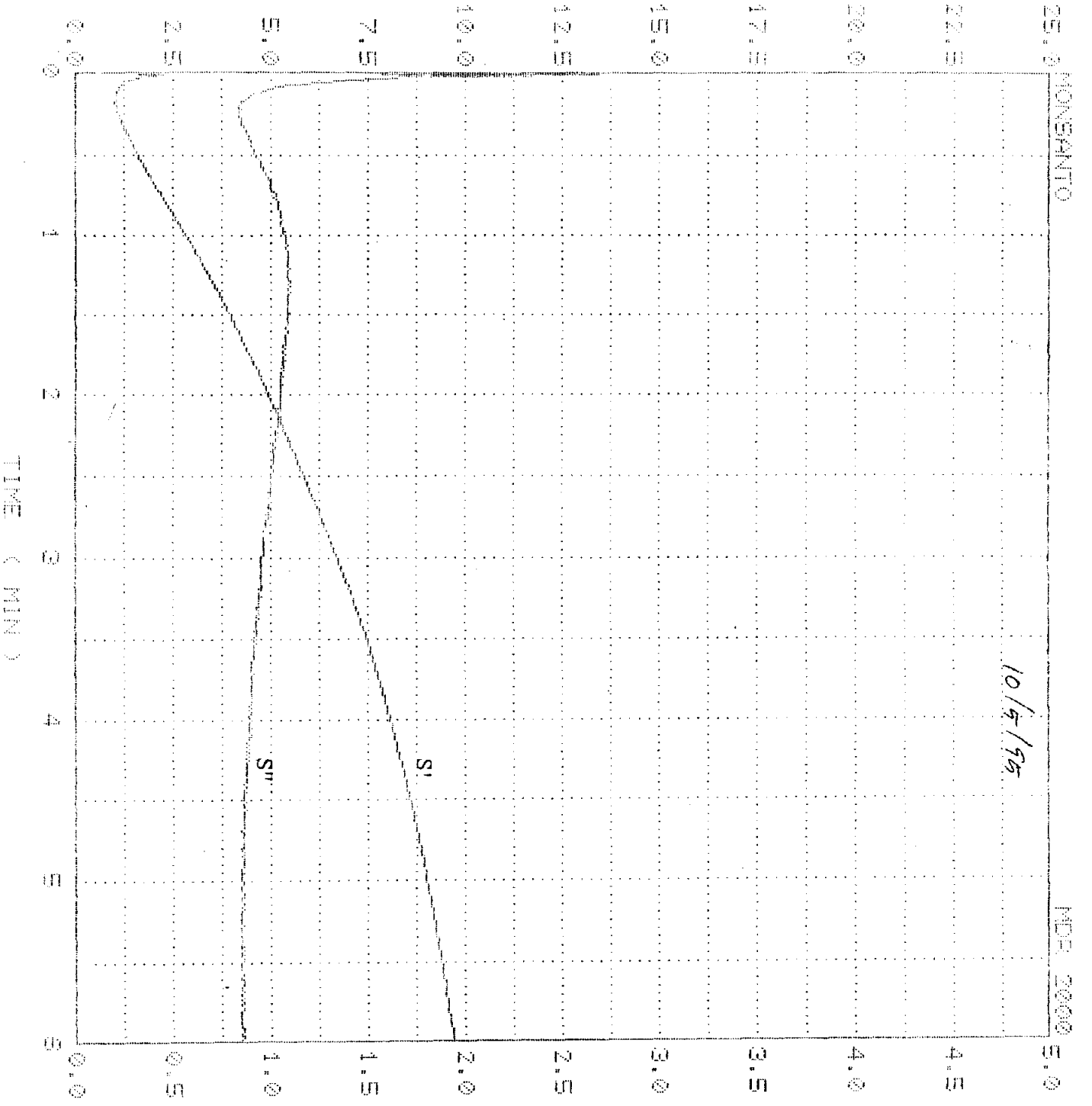
run 2 magnesium oxide 2 phr.



mp: 180.1 C	ML: 1.01 Kg-cm	S" @ML: 0.86 Kg-cm	Tand @ML: 0.851
mp: 180.2 C	MH: 9.73 Kg-cm	S" @MH: 0.84 Kg-cm	Tand @MH: 0.086
	tS1: 0.69 m.m	tS2: 1.11 m.m	
0.64 m.m	t50: 2.28 m.m	t90: 4.88 m.m	

3 magnesium oxide 3 phr.

F O R G O I N G

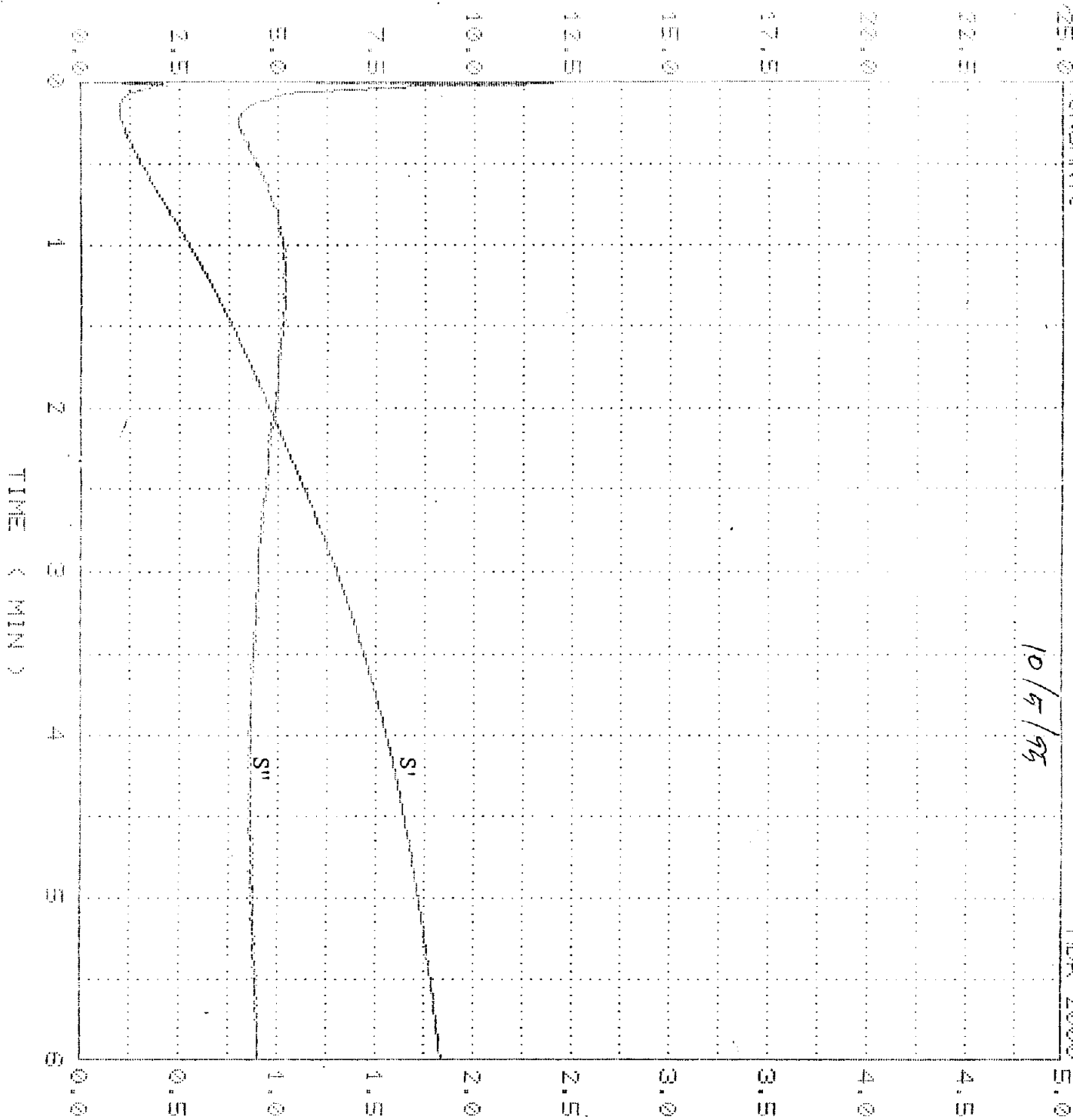


F O R G O I N G

np: 179.7 C	ML: 1.06 Kg-cm	S' @ML: 0.86 Kg-cm	Tand @ML: 0.311
np: 179.7 C	MH: 9.73 Kg-cm	S' @MH: 0.86 Kg-cm	Tand @MH: 0.088
	tS1: 0.69 m.m	tS2: 1.10 m.m	
0.63 m.m	t50: 2.24 m.m		t90: 4.77 m.m

4 magnesium oxide 4 phr.

10/5/95



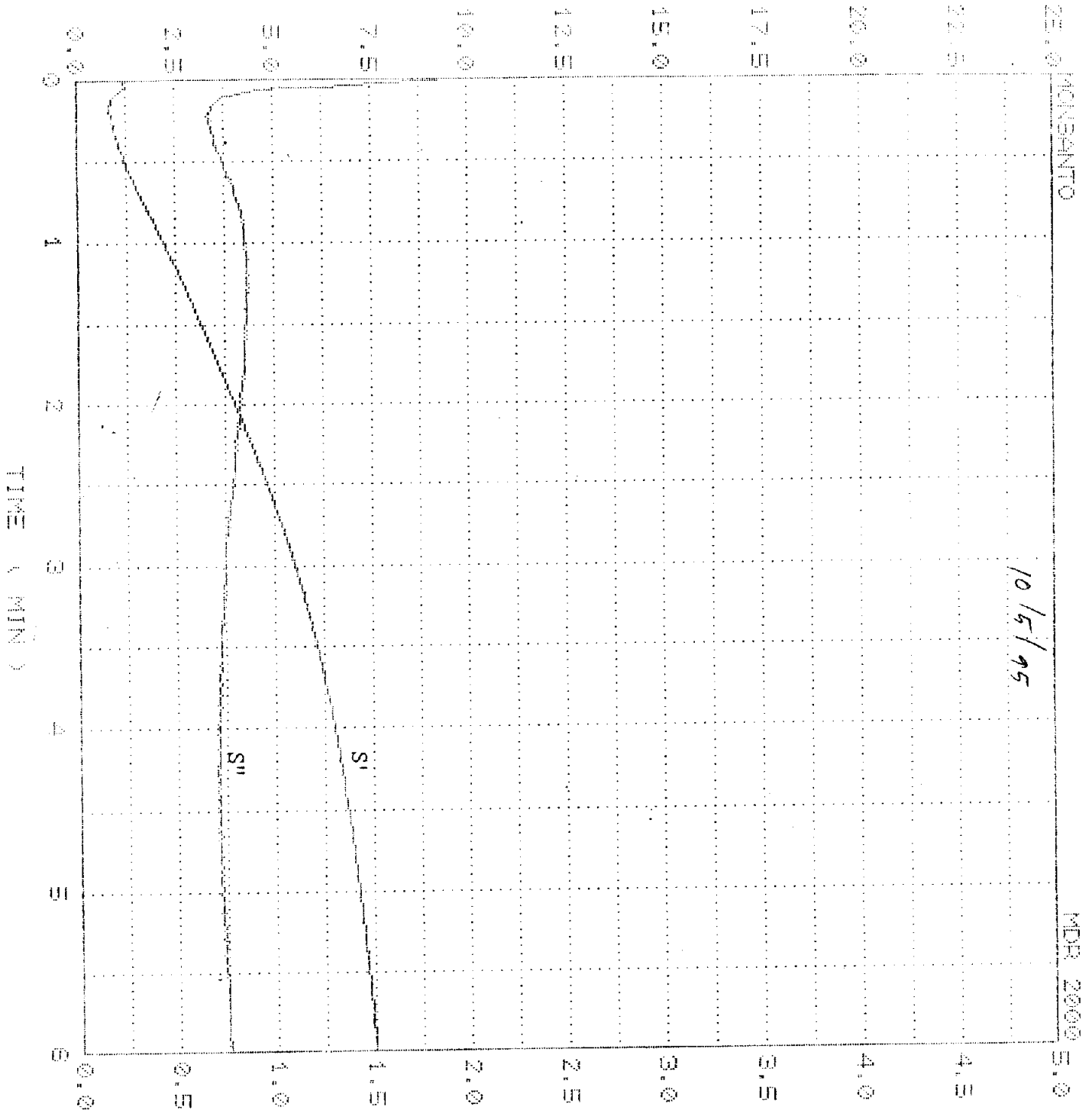
RECORD

RECORD

Temp: 180.1 C	ML: 1.03 Kg-cm	S' @ML: 0.83 Kg-cm	Tand @ML: 0.806
Temp: 180.0 C	MH: 9.20 Kg-cm	S' @MH: 0.90 Kg-cm	Tand @MH: 0.098
	tS1: 0.71 m.m	tS2: 1.12 m.m	
D: 0.63 m.m	t50: 2.17 m.m	t90: 4.66 m.m	

รูปที่ 5 magnesium oxide 5 phr.

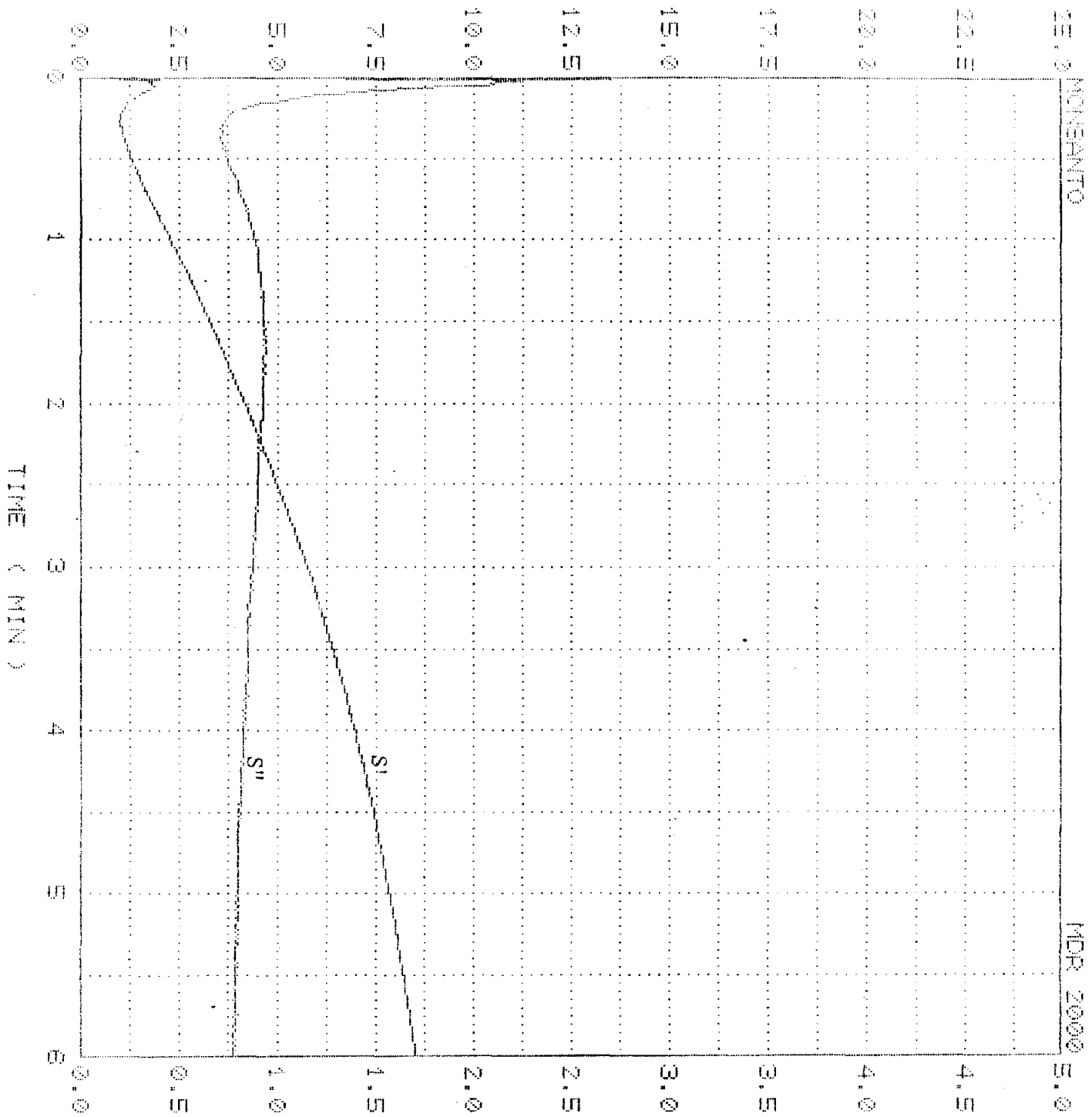




emp: 180.2 C	NL: 0.86 Kg-cm	S'' @ML: 0.69 Kg-cm	Tand @ML: 0.802
emp: 180.2 C	MH: 7.54 Kg-cm	S'' @MH: 0.77 Kg-cm	Tand @MH: 0.102
	ts1: 0.83 m.m	ts2: 1.32 m.m	
: 0.66 m.m	ts0: 2.10 m.m		t90: 4.50 m.m

Fig 6 magnesium oxide 6 phr.

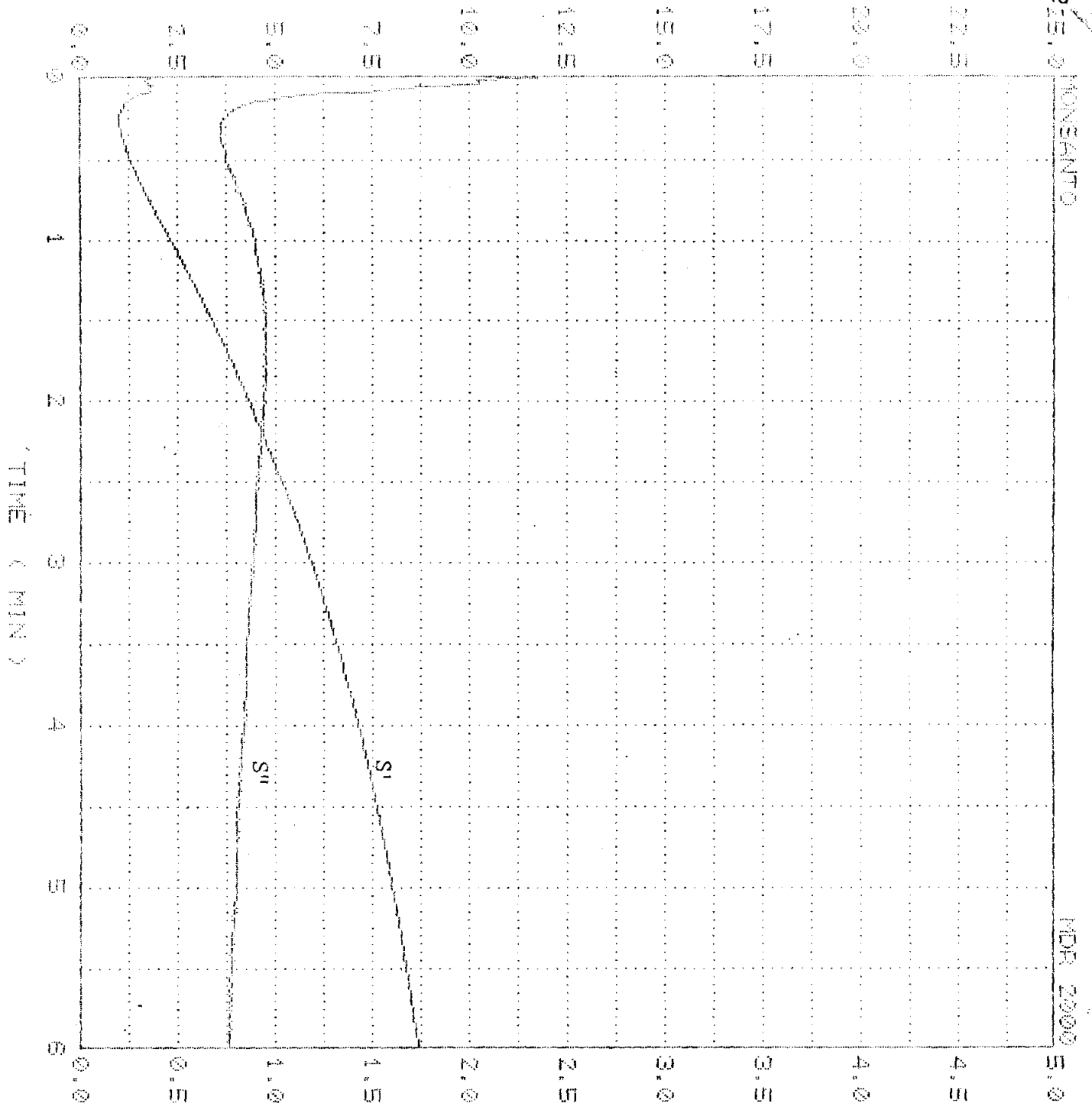
- ทดลองปรับปริมาณ zinc oxide จาก 1-7 phr. แล้วหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ด้วยเครื่อง Rheometer รุ่น MDR 2000 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด (รูปที่ 7-13)



emp: 180.0 C	NL: 1.05 Kg-cm	S'' @ML: 0.74 Kg-cm	Tand @ML: 0.705
emp: 180.1 C	MH: 8.55 Kg-cm	S'' @MH: 0.79 Kg-cm	Tand @MH: 0.092
	tS1: 0.88 m.m	tS2: 1.38 m.m	
	t50: 2.37 m.m	t90: 4.91 m.m	

7

zinc oxide 1 phr.



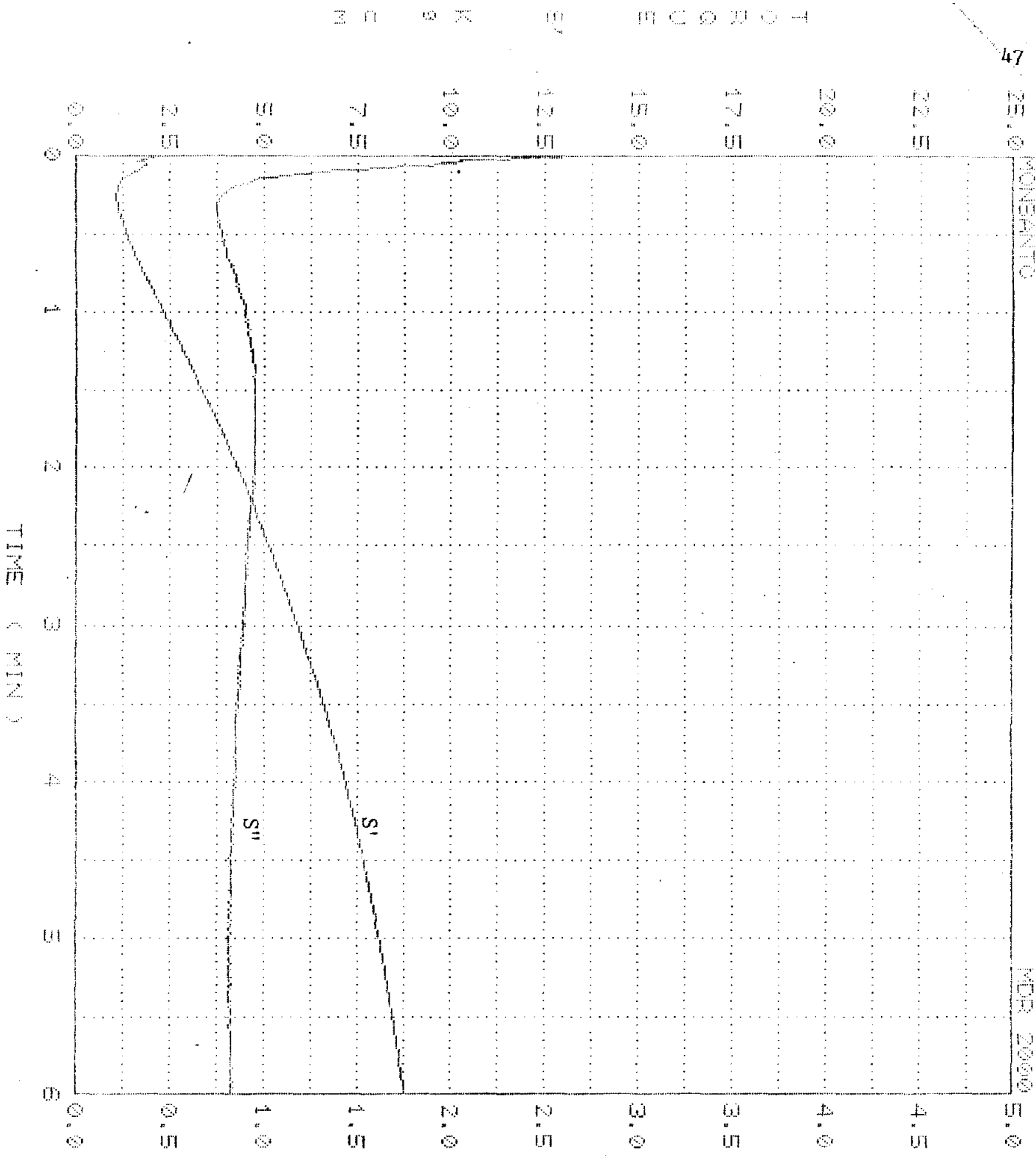
3 n e x 0 0 1 1 0 0 0 0 4

ψ Temp: 179.8 C	ML: 1.05 Kg-cm	S' @ML: 0.77 Kg-cm	Tand @ML: 0.733
ψ Temp: 179.8 C	MH: 8.73 Kg-cm	S' @MH: 0.77 Kg-cm	Tand @MH: 0.086
	tS1: 0.87 m.m	tS2: 1.33 m.m	
t10: 0.75 m.m	t50: 2.33 m.m		t90: 4.89 m.m

5 1/4 8 zinc oxide 2 phr.

MONOMANTO

MDR 20000

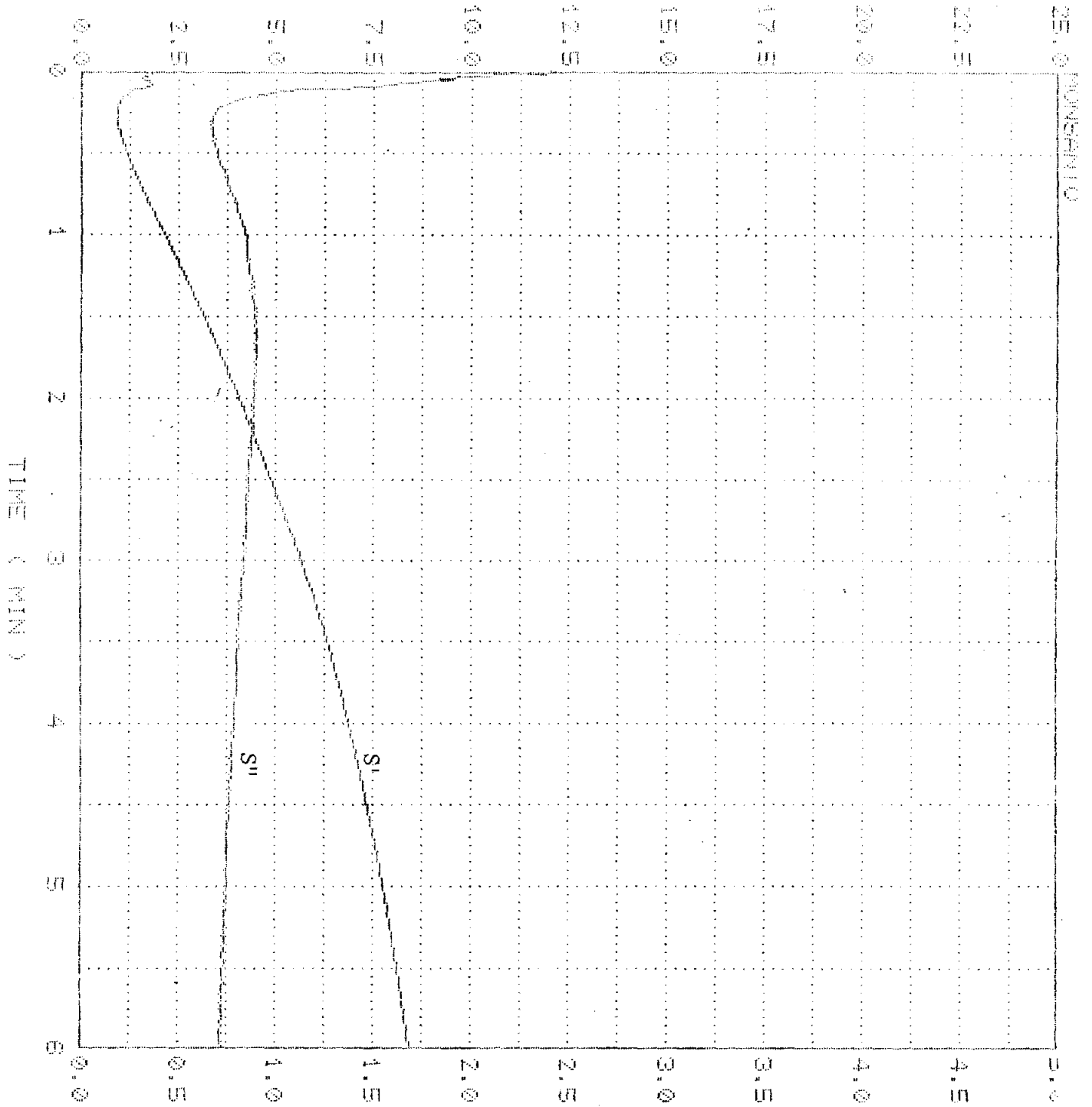


3 0 0 X 0 0 0 0 0 0 0

3 0 0 X 0 0 0 0 0 0 0

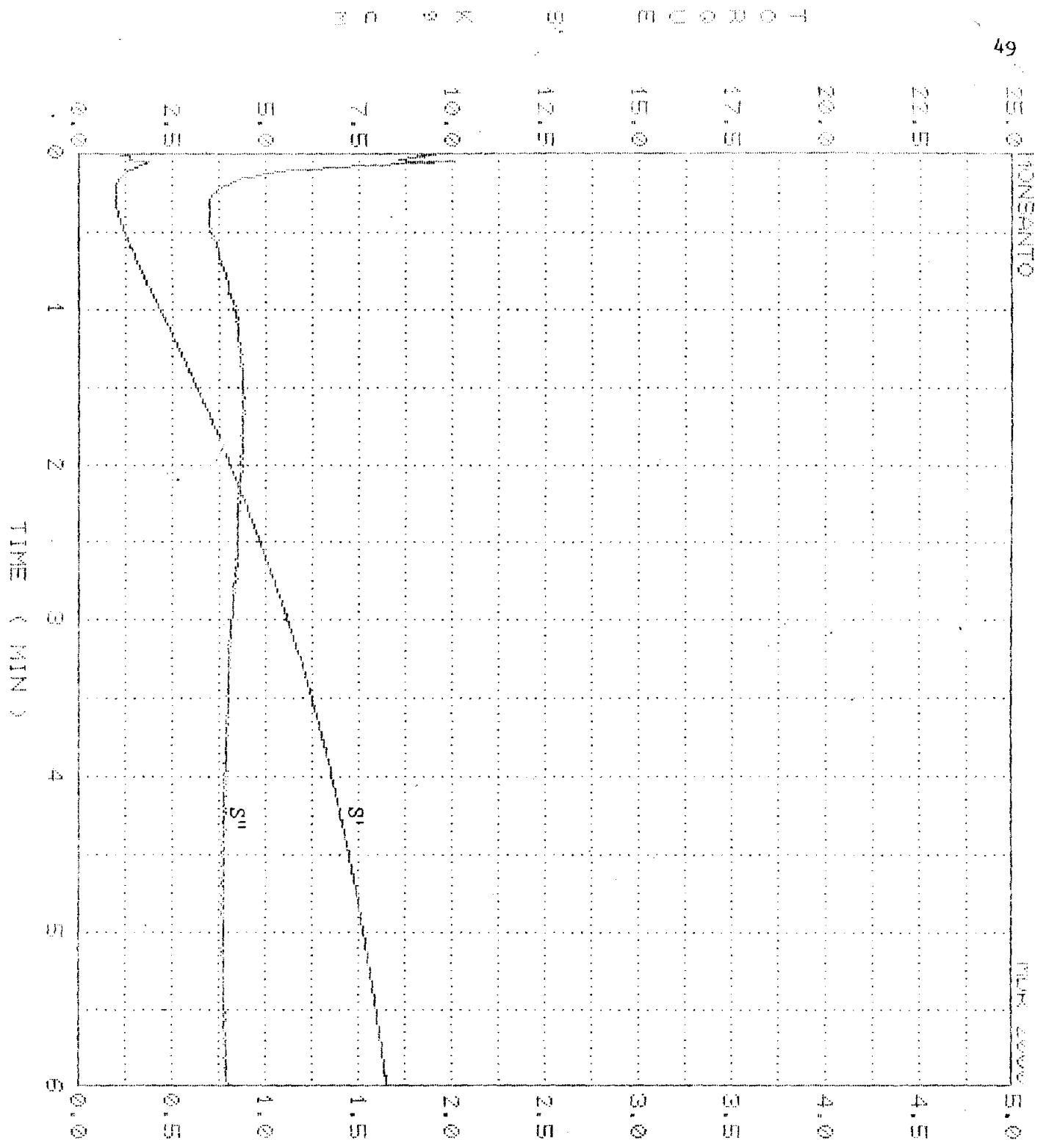
Temp: 180.0 C	ML: 1.11 Kg-cm	S'' @ML: 0.78 Kg-cm	Tand @ML: 0.703
Temp: 179.9 C	MH: 8.79 Kg-cm	S'' @MH: 0.84 Kg-cm	Tand @MH: 0.096
	tS1: 0.89 m.m	tS2: 1.37 m.m	
Ds: 0.77 m.m	tS0: 2.39 m.m	tT0: 4.89 m.m	

Fig 9 zinc oxide 3 phr.



Temp: 180.1 C	ML: 0.95 Kg-cm	S' @ML: 0.69 Kg-cm	Tand @ML: 0.72
Temp: 180.1 C	MH: 8.46 Kg-cm	S' @MH: 0.72 Kg-cm	Tand @MH: 0.0
	tS1: 0.90 m.m	tS2: 1.39 m.m	
t10: 0.78 m.m	t50: 2.37 m.m	t90: 4.98 m	

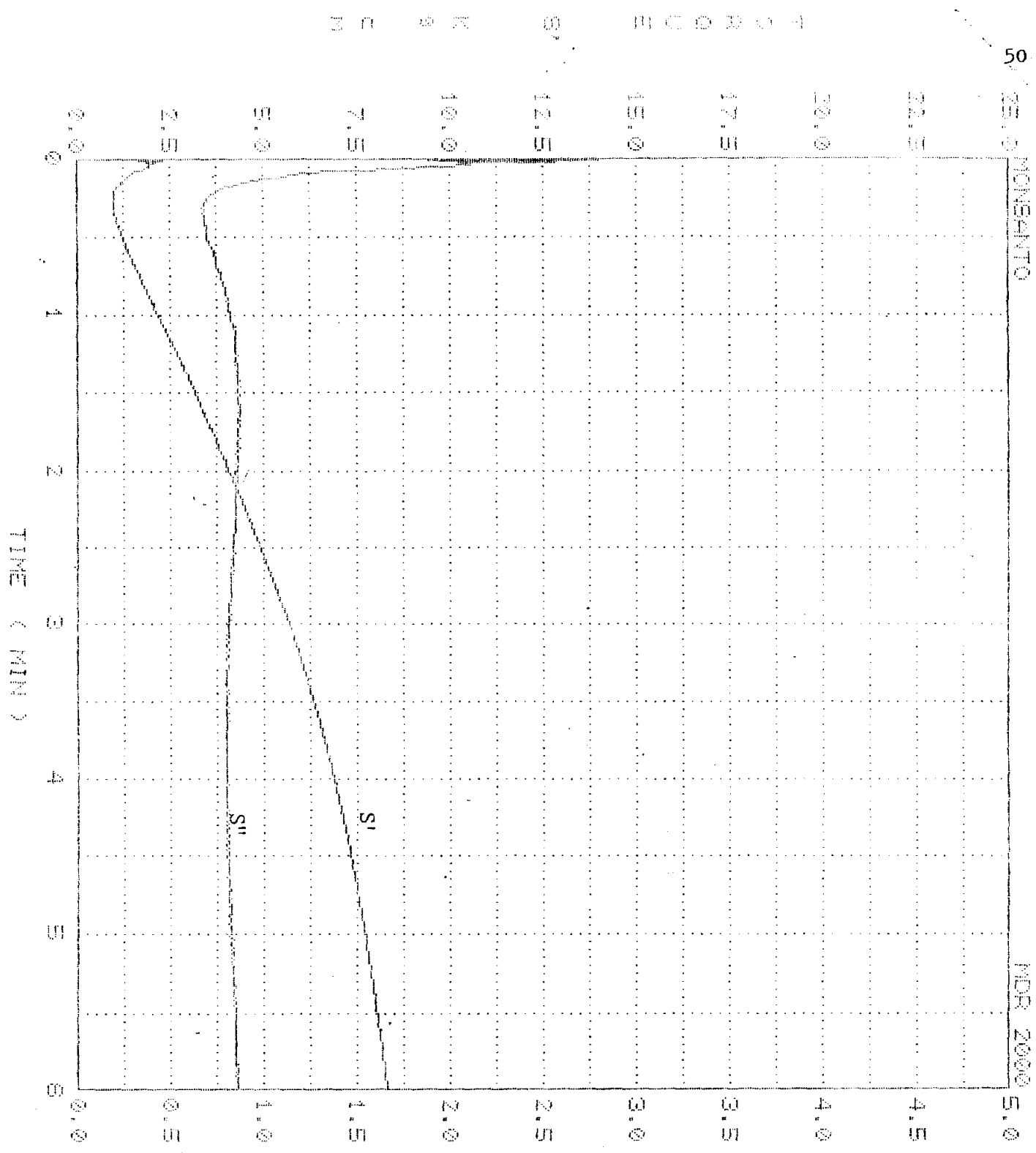
10 zinc oxide 4 phr.



THERMOGRAPH

↑ Temp: 179.8 C	ML: 1.00 Kg-cm	S" @ML: 0.74 Kg-cm	Tand @ML: 0.74
↓ Temp: 179.7 C	MH: 8.29 Kg-cm	S" @MH: 0.80 Kg-cm	Tand @MH: 0.05
	ts1: 0.90 m.m	ts2: 1.41 m.m	
t10: 0.76 m.m	t50: 2.36 m.m	t90: 4.86 m	

PH 11 zinc oxide 5 phr.



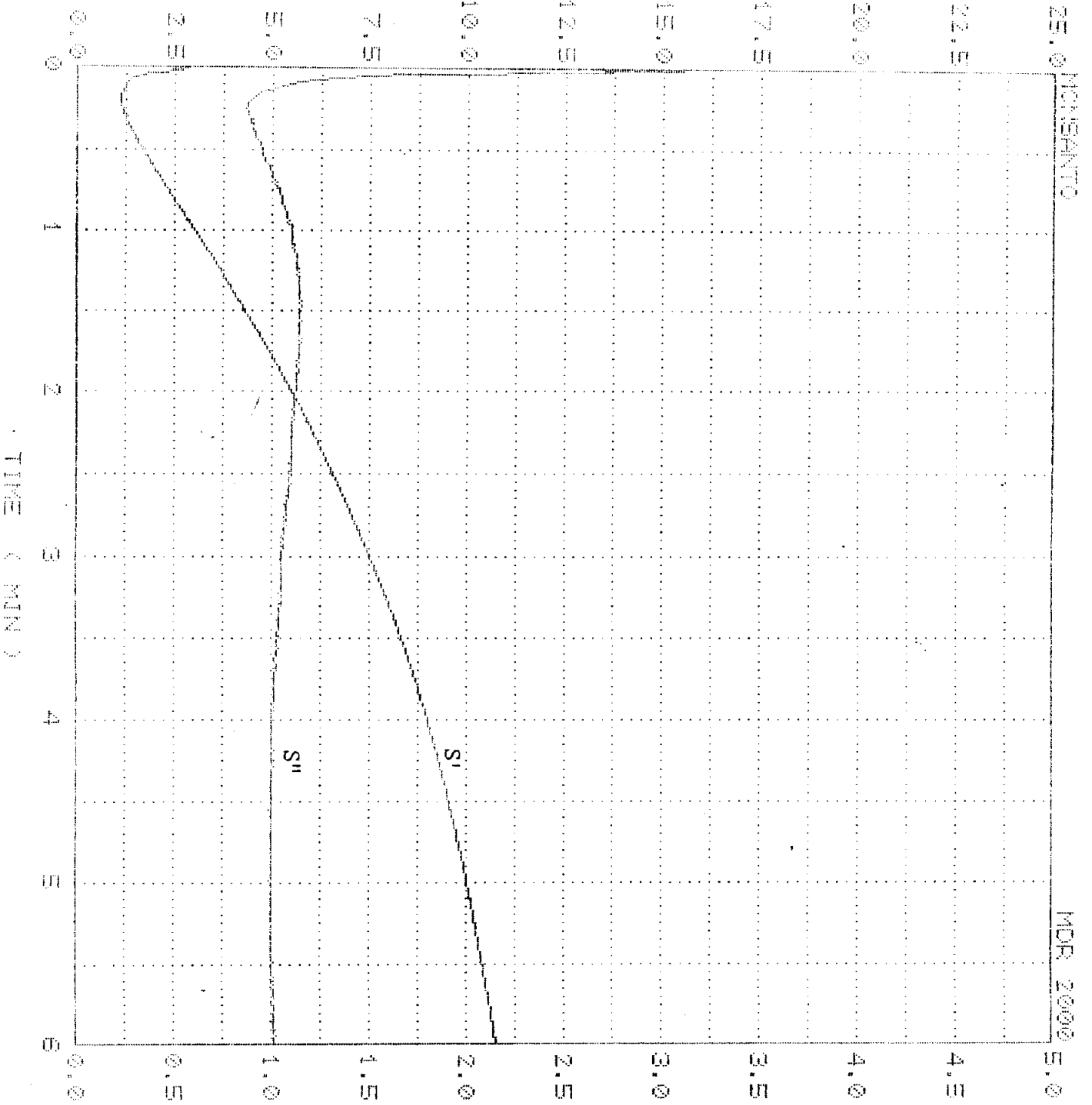
3 n 9 K 0 11 C 0 0 0 4

3 n 9 K 0 11 C 0 0 0 4

Temp: 180.1 C	ML: 1.00 Kg-cm	5" @ML: 0.69 Kg-cm	Tand @ML: 0.690
Temp: 180.1 D	MH: 8.34 Kg-cm	5" @MH: 0.87 Kg-cm	Tand @MH: 0.104
	tS1: 0.91 m.m	tS2: 1.40 m.m	
0:	0.77 m.m	t50: 2.34 m.m	t90: 4.81 m.m

517 12 zinc oxide 6 phr.





3 n 0 2 0 1 M C 0 0 0 4

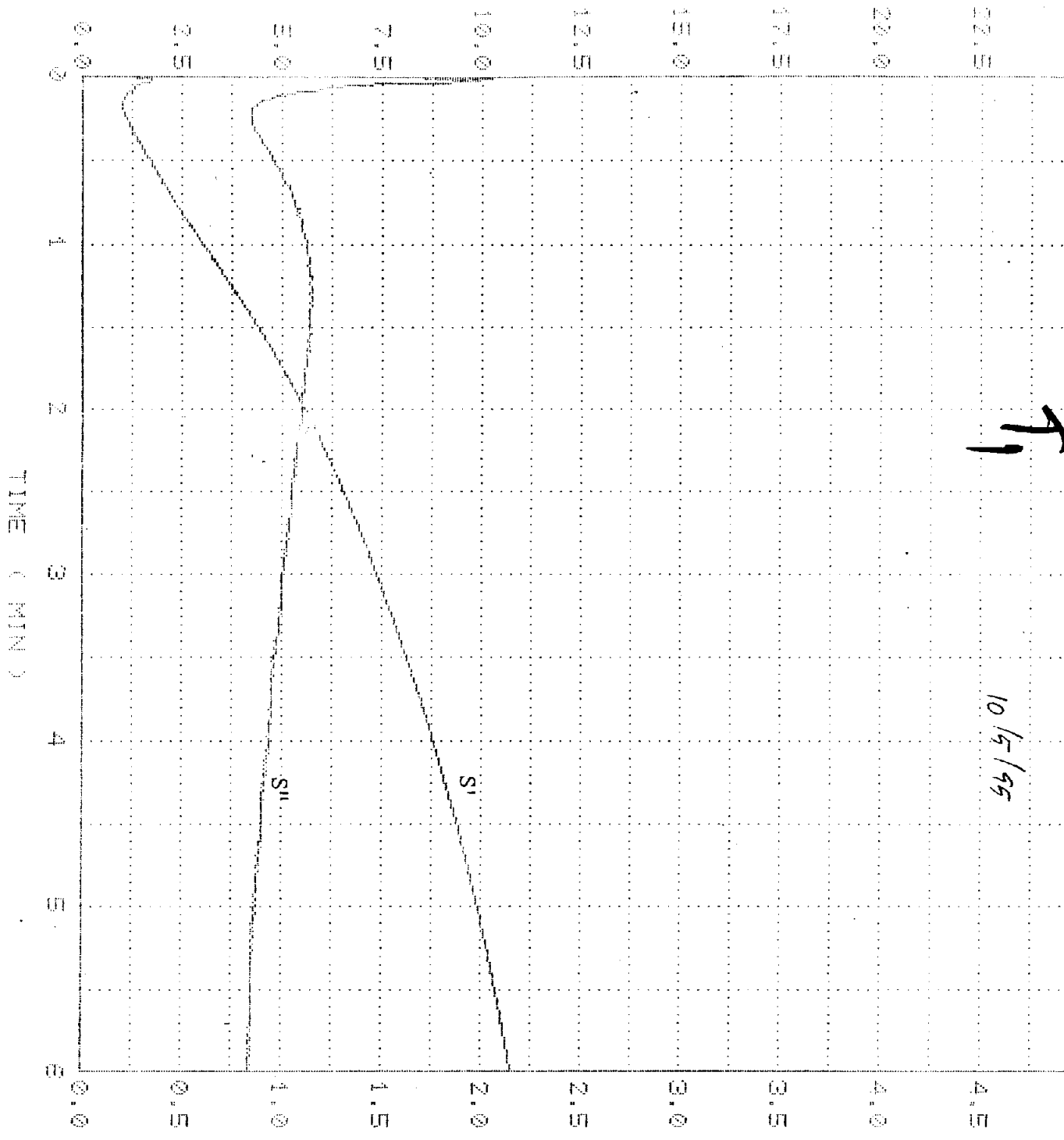
Temp: 180.2 C	ML: 1.16 Kg-cm	S' @ML: 0.92 Kg-cm	Tand @ML: 0.793
Temp: 180.1 C	MH: 10.76 Kg-cm	S' @MH: 1.02 Kg-cm	Tand @MH: 0.095
	tS1: 0.68 m.m	tS2: 1.06 m.m	
λ: 0.66 m.m	t50: 2.20 m.m	t90: 4.73 m.m	

รูปที่ 13 zinc oxide 7 phr.

- ทดลองปรับปริมาณ TT เป็น 1, 1.5 และ 2 phr. แล้วหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาอย่างคงรูป ด้วยเครื่อง Rheometer รุ่น MDR 2000 ของบริษัทมอนซานโต้ (ประเทศไทย) จำกัด (รูปที่ 14-16)

23.0 MONSANTO

MDR 2000

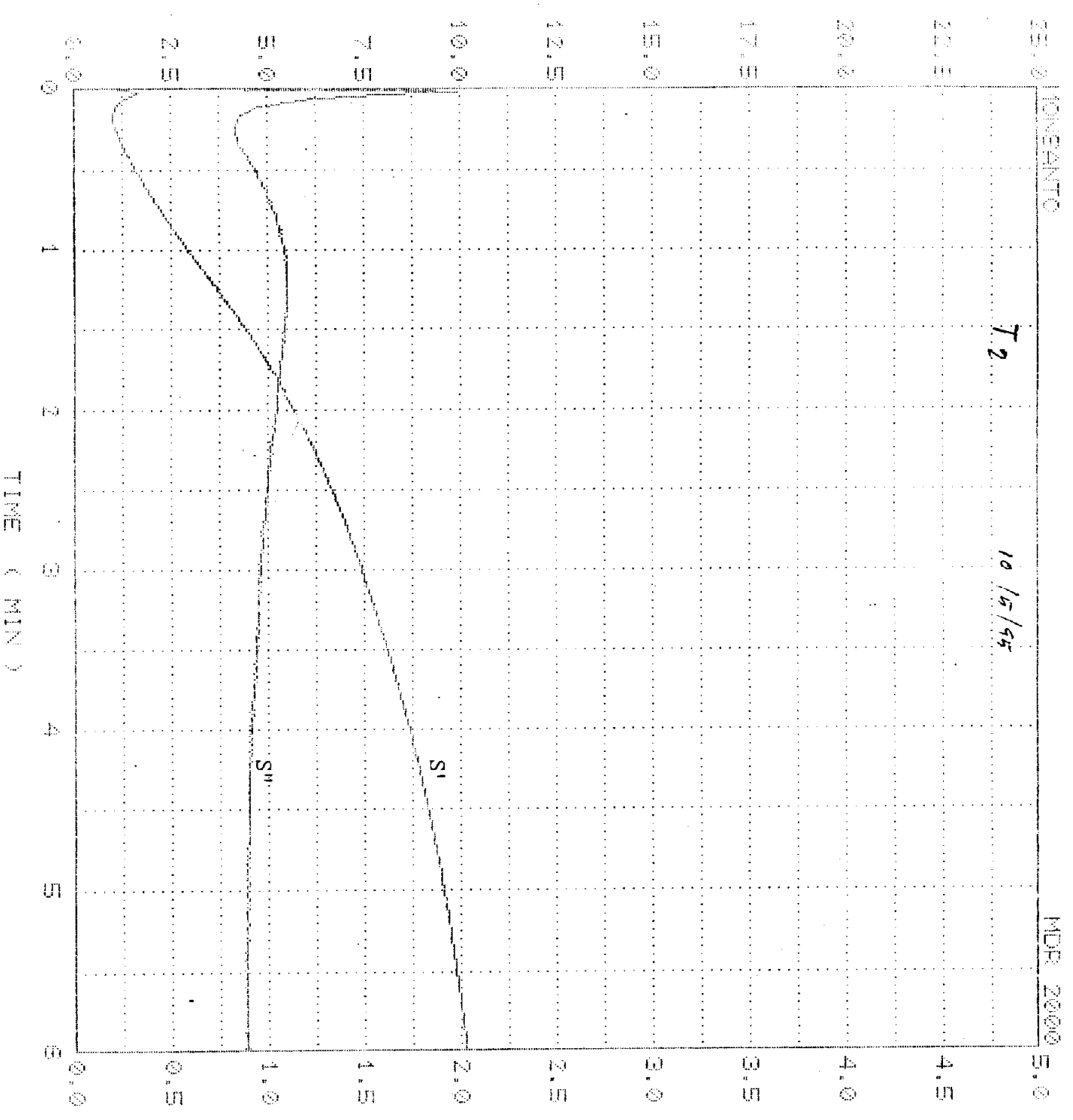


Z N S X 0 M C O D O H

mp: 180.0 C	ML: 1.05 Kg-cm	S" @ML: 0.88 Kg-cm	Tand @ML: 0.838
mp: 180.0 C	MH: 10.78 Kg-cm	S" @MH: 0.84 Kg-cm	Tand @MH: 0.078
	tS1: 0.64 m.m	tS2: 1.00 m.m	
0.63 m.m	t50: 2.15 m.m	t90: 4.85 m.m	

14 TT 1 phr.

F O R O D E S S



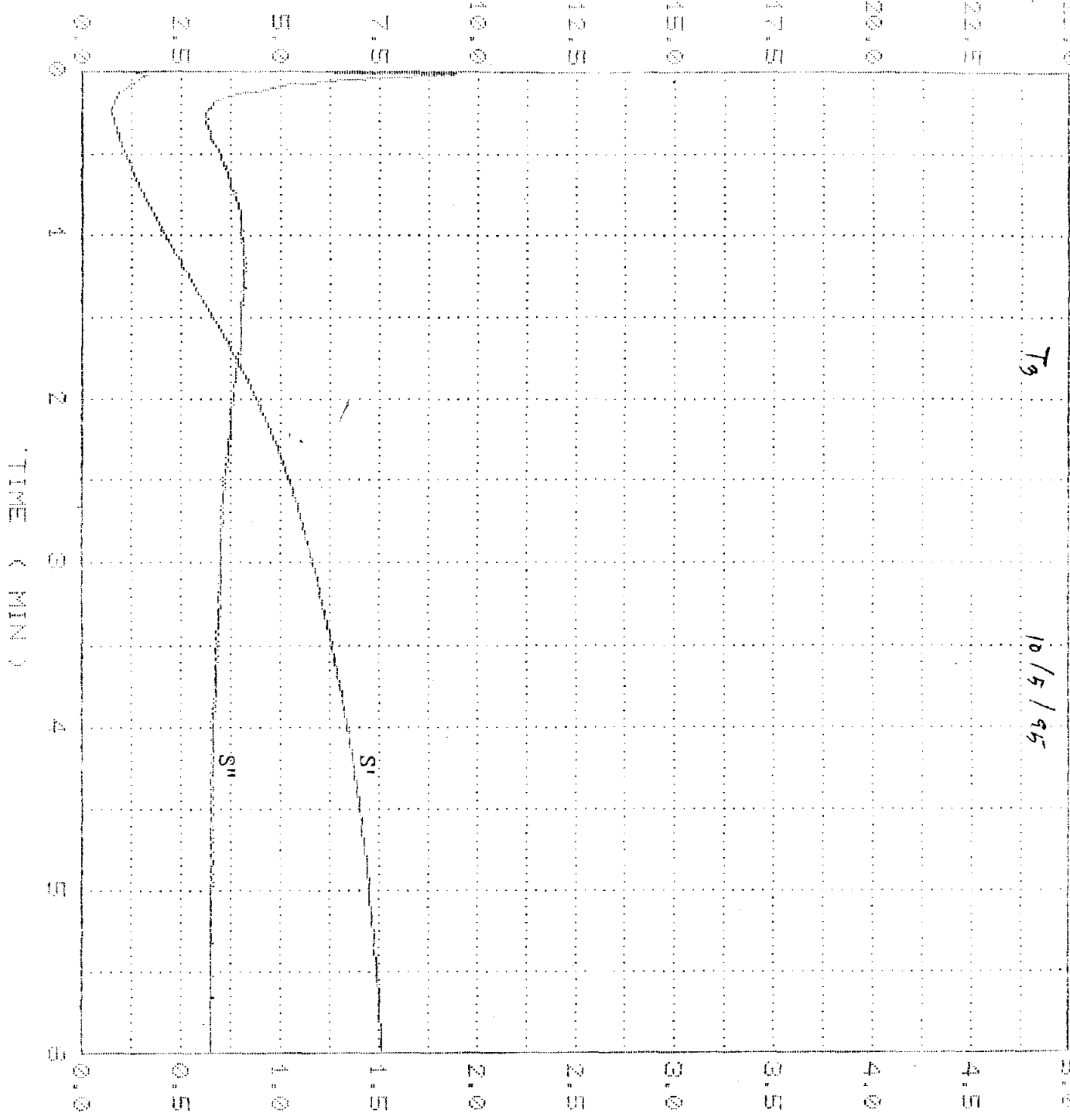
F O R O D E S S

Temp: 180.0 C	ML: 1.03 Kg-cm	S" @ML: 0.87 Kg-cm	Tand @ML: 0.845
Temp: 180.1 C	MH: 10.19 Kg-cm	S" @MH: 0.89 Kg-cm	Tand @MH: 0.087
t0: 0.43 m.m	ts1: 0.67 m.m	ts2: 1.04 m.m	t90: 4.60 m.m
	t50: 1.96 m.m		

TT 1.5 phr.

T<sub>9</sub>

10/5/95



H O R O D E

M I C O T O H

Temp: 180.1 C	ML: 0.80 Kg-cm	S" @ML: 0.64 Kg-cm	Tand @ML: 0.800
Temp: 180.1 C	MH: 7.61 Kg-cm	S" @MH: 0.66 Kg-cm	Tand @MH: 0.087
	tS1: 0.87 m.m	tS2: 1.30 m.m	
De: 0.70 m.m	t50: 1.89 m.m	t90: 4.31 m.m	

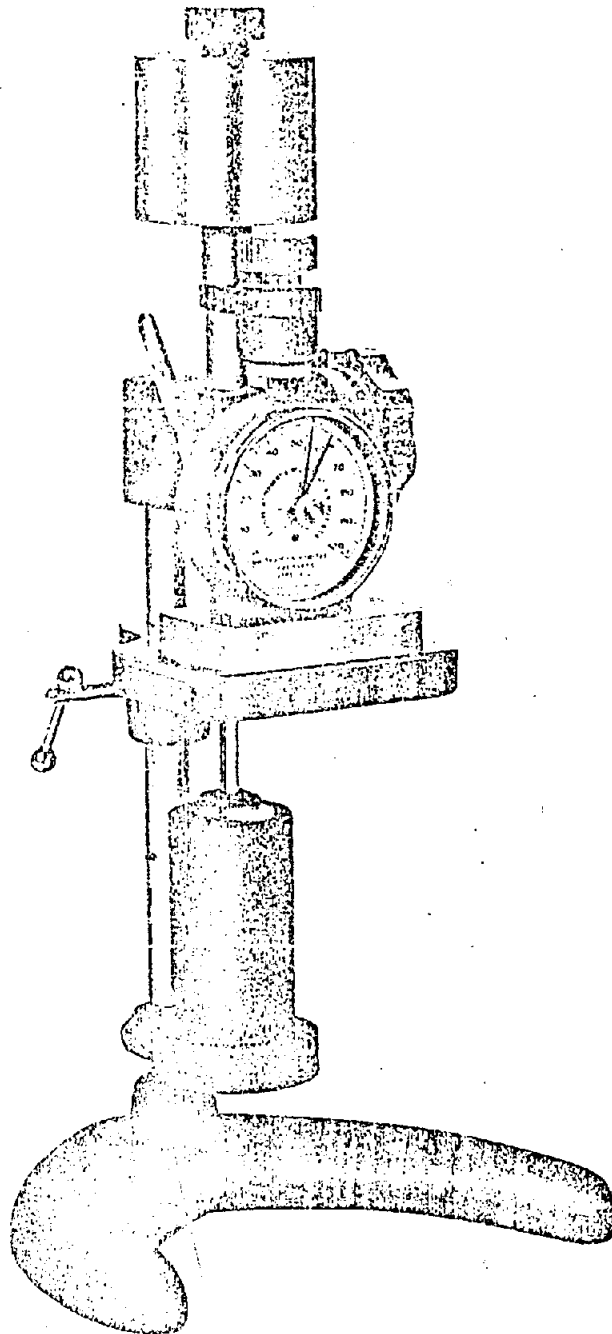
16 TT 2 phr.

ภาคผนวก ข  
การทดสอบสมบัติเชิงกล<sup>(9)</sup>

1. การทดสอบความแข็งของยาง

1.1 เครื่องมือ

เครื่อง spring type hardness tester type A (ตามรูป)



รูปที่ 17 เครื่องวัดความแข็ง

### 1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

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

### 1.3 วิธีทดสอบ

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

### 1.4 การรายงานผล

ให้รายงานผลความแข็งเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 5 ครั้ง หน่วยเป็น ° Shore A

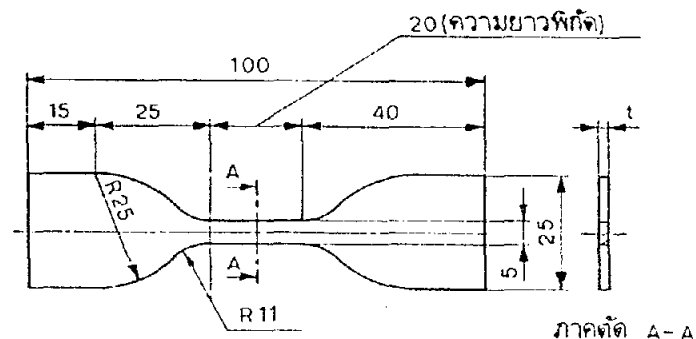
## 2. โมดูลัสที่ความยืด 300%, ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด

### 2.1 เครื่องมือ

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

### 2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2.1 ตัดแผ่นยางด้วยแบบตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมบีเบลล์ มีขนาดและรูปร่างดังรูป



t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 18 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบ โมดูลัสที่ความยืด 300% ความต้านแรงดึง และความยืดขณะขาด

2.2.2 ใช้ขึ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น สำหรับโมดูลัสที่ความยืด 300%, ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด

2.2.3 วัดความหนาและความกว้างส่วนขนานของขึ้นทดสอบ ดังนี้

- (1) เครื่องมือที่ใช้วัดความหนา ต้องวัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร และมีแป้นกดรูปวงกลม ผิวหน้าเรียบ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร กดขึ้นทดสอบด้วยแรง  $0.80 + 0.12$  นิวตัน
- (2) การวัดความหนา (t) ให้วัดหลาย ๆ จุดในช่วงความยาวพิกต์ของขึ้นทดสอบ และใช้ค่าต่ำสุดเป็นความหนาของขึ้นทดสอบ ในการวัดจะต้องไม่ให้จุดศูนย์กลางของแป้นกดเลยขอบของขึ้นทดสอบออกไป
- (3) ความกว้างส่วนขนานของความยาวพิกต์ ให้วัดจากความกว้างของแบบตัด
- (4) ทำเครื่องหมายความยาวพิกต์ 20 มิลลิเมตรให้ถูกต้องและเด่นชัดบนส่วนขนานของขึ้นทดสอบ โดยให้จุดกึ่งกลางของส่วนขนานเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวพิกต์
- (5) พื้นที่ภาคตัดขวางของขึ้นทดสอบได้คำนวณ ดังนี้  
พื้นที่ภาคตัดขวาง = ความหนา  $\times$  ความกว้าง ส่วนขนานของความยาวพิกต์

## 2.3 วิธีทดสอบ

จับขึ้นทดสอบด้วยปากจับให้แน่น และไม่ให้เกิดการบิดในระหว่างทดสอบ ดึงขึ้นทดสอบด้วยอัตราเร็ว  $500 \pm 25$  มิลลิเมตรต่อนาที จนขึ้นทดสอบขาด อ่านค่าแรงดึงสูงสุด พร้อมทั้งวัดระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวพิกต์ขณะขึ้นทดสอบขาด

## 2.4 วิธีคำนวณ

คำนวณหาความต้านแรงดึงและความยืด จากสูตรดังต่อไปนี้

2.4.1 โมดูลัสที่ความยืด 300%

$$300\% \epsilon_m = \frac{F_m}{A}$$

เมื่อ  $300\% \epsilon_m$  คือ โมดูลัสที่ความยืด 300% เป็นเมกะพาสคัล

$F_m$  คือ แรงดึงที่ความยืด 300% เป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของขึ้นทดสอบ ก่อนทดสอบเป็นตารางมิลลิเมตร



### 2.4.2 ความต้านแรงดึง

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

เมื่อ  $T_B$  คือ ความต้านแรงดึง เป็นเมกะพาสคัล

$F_B$  คือ แรงดึงสูงสุดที่ทดสอบ เป็นนิวตัน

$A$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบ ก่อนทดสอบเป็นตารางมิลลิเมตร

### 2.4.3 ความยืดขณะขาด

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

เมื่อ  $E_B$  คือ ความยืดขณะขาด เป็นร้อยละ

$L_1$  คือ ระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวพิคัดขณะชิ้นทดสอบขาด เป็นมิลลิเมตร

$L_0$  คือ ความยาวพิคัด เป็นมิลลิเมตร

## 2.5 การรายงานผล

ให้จัดเรียงค่าโมดูลัสที่ความยืด 300%, ความต้านแรงดึงและความยืดของชิ้นทดสอบของตัวอย่างแต่ละชิ้นจากมากไปหาน้อยตามลำดับ แล้วแทนด้วย

$300\% M_1 > 300\% M_2 > 300\% M_3$  สำหรับค่าโมดูลัสที่ความยืด 300%

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

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

$$300\% = 0.7 (300\% M_1) + 0.2 (300\% M_2) + 0.1 (300\% M_3)$$

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

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

## 3. แรงอายุการใช้งาน

ให้นำชิ้นทดสอบที่วัดความแข็งเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ เช่นเดียวกับข้อ 2.2 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 70 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบตามข้อ 1.3 และข้อ 2.3

### 3.1 เครื่องมือ

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

### 3.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ให้นำชิ้นทดสอบที่วัดความแข็งเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมชิ้นทดสอบรูปดัมมี่เกล็ด เช่นเดียวกับข้อ 2.2

### 3.3 วิธีทดสอบ

- (1) นำชิ้นทดสอบมาเกี่ยวกับที่แฉกในตู้อบโดยไม่ให้เกิดความเค้นและชิ้นทดสอบต้องไม่แตะกันหรือแตะกับส่วนใด ๆ ของตู้อบ ชิ้นทดสอบทั้งหมดต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 1 กรัม ต่อ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรของปริมาตรภายในของตู้อบ ปรับอุณหภูมิภายในตู้ให้ได้  $100 \pm 1$  องศาเซลเซียส และอบไว้เป็นเวลานาน 70 ชั่วโมง
- (2) การทดสอบหาความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด ให้ทดสอบภายหลังจากการอบตามข้อ (1) และปล่อยให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง แล้วให้ทำการทดสอบภายในเวลา 16 ถึง 96 ชั่วโมง ตามวิธีการทดสอบในข้อ 1.3 และ ข้อ 2.3

### 3.4 วิธีคำนวณ

- (1) ความแข็งเปลี่ยนแปลง

$$A_H = H_2 - H_1$$

เมื่อ  $A_H$  = ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A

$H_2$  = ความแข็งก่อนอบ, Shore A

$H_1$  = ความแข็งหลังอบ, Shore A

- (2) ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลง

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

$$A_C = A_R - 100$$

เมื่อ  $A_R$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดขณะขาด  
เหลืออยู่, %

$A_p$  = ความต้านแรงดึงหรือและยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลง, %  
 $S_{11}, S_{12}, S_{13}$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดขณะขาดของชิ้นทดสอบ  
 ก่อนอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย  
 $S_{21}, S_{22}, S_{23}$  = ความต้านแรงดึงหรือความยืดขณะขาดของชิ้น  
 ทดสอบหลังอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย

### 3.5 การรายงานผล

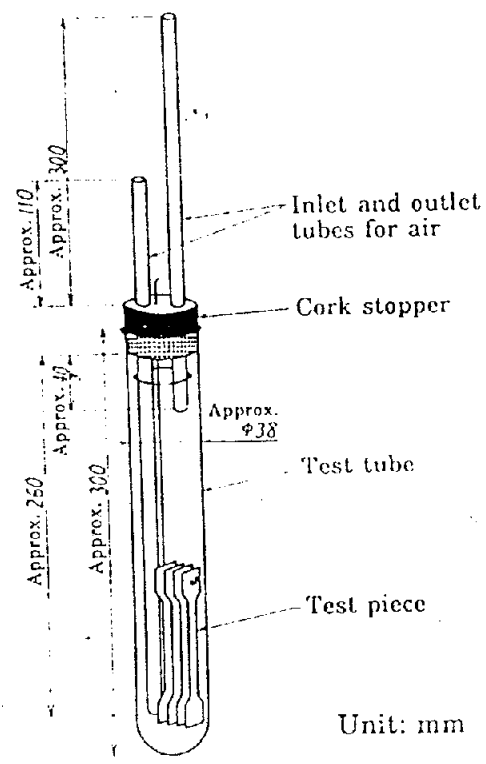
ให้รายงานค่า

- ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลง, %
- ความยืดขณะขาดเปลี่ยนแปลง, %
- พร้อมทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้เร่งอายุการใช้งาน

## 4. การทดสอบความทนน้ำมัน

### 4.1 เครื่องมือ

(1) ภาชนะสำหรับแช่ชิ้นทดสอบ เป็นหลอดแก้วทรงกระบอก (test tube) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 38 มม. สูงประมาณ 300 มม. มีจุกยางสำหรับปิดและที่จุกยางจะมีตะขอลำสำหรับแขวนชิ้นทดสอบ ดังรูป



รูปที่ 19 ภาชนะสำหรับแช่ชิ้นทดสอบ ความทนน้ำมัน

(2) ตู้อบ เซ่งเดียวกับข้อ 3.1 (2)

(3) น้ำมันใช้น้ำมันเบอร์ 1 และน้ำมันเบอร์ 3 ซึ่งมีคุณสมบัติตามตาราง

ตารางที่ 9 Oil for test (lubricating oil)

Testing item	Kind of oil		
	Oil No. 1	Oil No. 2	Oil No. 3
Kinematic viscosity <sup>(1)</sup> [mm <sup>2</sup> /s{cSt}]	18.71 to 21.05 {18.71 to 21.05} (98.9°C)	19.19 to 21.52 {19.19 to 21.52} (98.9°C)	31.96 to 34.18 {31.96 to 34.18} (98.9°C)
Aniline point °C <sup>(2)</sup>	123.9 ± 1	93.0 ± 3	69.5 ± 1
Flash point °C <sup>(3)</sup>	243.3 min	240.5 min	162.7 min

Notes <sup>(1)</sup> Kinematic viscosity shall be in accordance with JIS K 2283.

Also in case of the conversion into Saybolt (second) it shall be in accordance with Attached Table 1 in the same standard.

<sup>(2)</sup> Aniline point shall be in accordance with JIS K 2256.

<sup>(3)</sup> Flash point shall be in accordance with JIS K 2265.

#### 4.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดแผ่นยางให้เป็นชิ้นทดสอบ ขนาด กว้าง x ยาว 20 x 50 มม.หนา 2.00 ± 0.15 มม.

จำนวน 3 ชิ้น

#### 4.3 วิธีทดสอบ

4.3.1 ชั่งชิ้นทดสอบในอากาศให้ทราบค่าที่แน่นอนถึง 0.0001 กรัม ( $W_1$ ) แล้วชั่งในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ( $W_2$ ) ถ้าต้องการให้ชิ้นทดสอบจมน้ำ ให้ใช้เครื่องถ่วง (sinker) ในกรณีที่ใช้เครื่องถ่วงให้ชั่งน้ำหนักเฉพาะเครื่องถ่วงในน้ำกลั่น ( $W_3$ )

4.3.2 ซับชิ้นทดสอบให้แห้งด้วยกระดาษกรองหรือผ้า แล้ววางในหลอดแก้วซึ่งบรรจุน้ำมันอย่างน้อย 15 เท่าของปริมาตรของชิ้นทดสอบ นำเข้าไปไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง

- 4.3.3 นำชั้นทดสอบขึ้นมาซึ่งในอากาศทันทีเพื่อหาน้ำหนัก (โดยเข็ดน้ำมันที่ติดอยู่ที่ผิวของชั้นทดสอบก่อน) ให้ทราบค่าที่แน่นอนถึง 0.0001 กรัม ( $W_1$ ) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักในน้ำกลั่น ( $W_2$ ) ที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียสทันที

#### 4.4 วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป จากสูตรดังนี้

ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป ร้อยละ

$$= \frac{[W_3 - (W_4 - W_5)] - [W_1 - (W_2 - W_5)]}{W_1 - (W_2 - W_5)} \times 100$$

#### 4.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นร้อยละ

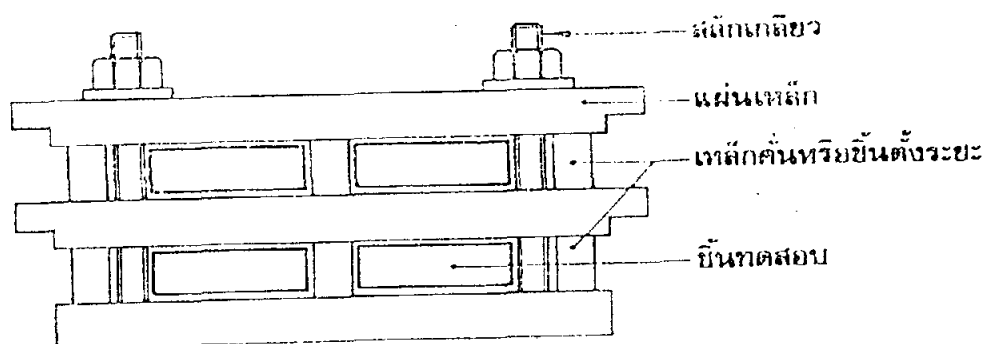
อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

### 5. การทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด

#### 5.1 เครื่องมือ

##### (1) เครื่องมืออัด

ประกอบด้วยแผ่นเหล็กชุบโครเมียมขัดมัน หรือแผ่นเหล็กที่ไม่เป็นสนิมขัดมัน 2 แผ่น หรือมากกว่าช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กนี้จะเป็นที่อัดชั้นทดสอบ แผ่นเหล็กนี้จะต้องราบและเรียบ มีความแข็งแรงไม่งอเมื่อรับแรง แผ่นเหล็กนี้จะอัดเข้าหากันโดยใช้ล็กเกลียวชั้น โดยมีเหล็กคั่น (steel spacer) ซึ่งมีความหนา  $9.52 \pm 0.01$  มิลลิเมตร เพื่อกำหนดระยะที่จะชั้น ตามรูป



รูปที่ 20 เครื่องมืออัด สำหรับทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด

## (2) คู่อบ

เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.4 (2)

## 5.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

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

## 5.3 วิธีทดสอบ

- 5.3.1 จะต้องทำให้เครื่องอัดมีอุณหภูมิเท่ากับห้องทดสอบและทำความสะอาดก่อนใช้ ลารที่ใช้หล่อลื่นต้องไม่ทำปฏิกิริยากับยาง
- 5.3.2 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ
- 5.3.3 ใส่ชิ้นทดสอบเข้าไปในช่องสำหรับอัด ชิ้นสลักเกลียวให้แผ่นเหล็กเคลื่อนเข้าหากัน โดยสม่ำเสมอทุกด้าน อัดชิ้นทดสอบเข้าไป ประมาณร้อยละ 25 จนกระทั่งแผ่นเหล็กแตะกับเหล็กคั่นพอดี
- 5.3.4 ใส่เครื่องอัดที่อัดชิ้นทดสอบแล้วเข้าไปในคู่อบ ซึ่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 22 ชั่วโมง แล้วรีบน้ำออกมามาคลายสลักเกลียวออก วางชิ้นทดสอบไว้บนฉนวน (เช่น ไม้) เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาอีกครั้งหนึ่ง

## 5.4 คำนวณ

หาค่าการยุบตัวจากแรงอัดได้จากสูตร

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

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

## 5.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการยุบตัวจากแรงอัด เป็นร้อยละ

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทดสอบ

## ภาคผนวก ค

คุณสมบัติเชิงกลของยางหุ้มข้อต่อรถจักรยานยนต์

ตามมาตรฐาน JIS K 6380 –1976 (Reaffirm 1979) Industrial Rubber Packing Materials เกรด BIII 410, BIII 510, BIII 610 และ BIII 710

Table 7

Test item Grade	General tests									Special tests					
	Hardness JIS spring type (A) Hs	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) (MPa)  (Min.)	Elongation (%) (Min.)	Oil resistance (100°C · 70 h)		Aging resistance properties (100°C · 70 h)			Compression permanent set (70°C 22 h) (%) (Max.)	b Compression permanent set (100°C 70 h) (%) (Max.)	d <sub>1</sub> (Oil resistance (No. 1 test oil, 100°C · 70 h))			d <sub>2</sub> (Oil resistance (No. 3 test oil, 100°C · 70 h))	
				No. 3 test oil	No. 1 test oil	Tensile strength change rate (%) (Max.)	Elongation change rate (%) (Max.)	Hardness change			Tensile strength change rate (%) (Max.)	Elongation change rate (%) (Max.)	Hardness change	Tensile strength change rate (%) (Max.)	Elongation change rate (%) (Max.)
BH 303	30 H 5	30 (2.9420)	300	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+20	80	50	-20	-30	± 10	-80	-60
BH 307	30 H 5	70 (6.8647)	400	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+20	75	50	-20	-30	± 10	-80	-60
BH 310	30 H 5	100 (9.8066)	500	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+20	65	50	-30	-30	± 10	-80	-60
BH 314	30 H 5	140 (13.729)	500	+50 ± +140	-10 ± +15	-15	-40	+20	60	45	-30	-30	± 10	-80	-60
BH 403	40 H 5	30 (2.9420)	300	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+20	65	45	-20	-30	± 10	-75	-55
BH 407	40 H 5	70 (6.8647)	400	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+20	65	45	-20	-30	± 10	-75	-55
BH 410	40 H 5	100 (9.8066)	500	+50 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+15	65	45	-20	-30	± 10	-75	-55
BH 414	40 H 5	140 (13.729)	500	+50 ± +140	-10 ± +15	-15	-40	+15	60	40	-30	-30	± 10	-80	-55
BH 417	40 H 5	170 (16.671)	500	+50 ± +140	-10 ± +15	-15	-40	+15	60	40	-30	-30	± 10	-80	-55
BH 507	50 H 5	70 (6.8647)	300	+40 ± +100	-10 ± +15	-15	-40	+20	60	40	-30	-30	± 10	-70	-55
BH 510	50 H 5	100 (9.8066)	350	+40 ± +110	-10 ± +15	-15	-40	+15	60	40	-30	-30	± 10	-70	-55
BH 515	50 H 5	150 (14.710)	400	+40 ± +120	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	40	-30	-30	± 10	-70	-55
BH 517	50 H 5	170 (16.676)	450	+40 ± +130	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	40	-40	-30	± 10	-70	-55
BH 520	50 H 5	200 (19.613)	500	+40 ± +140	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	40	-40	-30	± 10	-80	-55
BH 603	60 H 5	30 (4.9033)	300	+40 ± +100	-10 ± +15	-15	-40	+20	50	45	-30	-30	± 10	-65	-55
BH 607	60 H 5	70 (6.8647)	300	+40 ± +100	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	45	-30	-30	± 10	-65	-55
BH 610	60 H 5	100 (9.8066)	350	+40 ± +110	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	45	-30	-30	± 10	-65	-55
BH 615	60 H 5	150 (14.710)	350	+40 ± +110	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	45	-30	-30	± 10	-65	-55
BH 620	60 H 5	200 (19.613)	400	+40 ± +140	-10 ± +15	-15	-40	+15	50	45	-40	-30	± 10	-80	-55
BH 705	70 H 5	50 (4.9033)	200	+30 ± +100	-5 ± +10	-15	-40	+15	50	50	-15	-30	-5 ± +10	-65	-50
BH 707	70 H 5	70 (6.8647)	200	+30 ± +100	-5 ± +10	-15	-40	+15	50	50	-15	-30	-5 ± +10	-65	-50
BH 710	70 H 5	100 (9.8066)	250	+30 ± +100	-5 ± +10	-15	-40	+15	50	50	-15	-30	-5 ± +10	-65	-50
BH 714	70 H 5	140 (13.729)	300	+30 ± +100	-5 ± +10	-15	-40	+15	50	50	-15	-30	-5 ± +10	-65	-50
BH 717	70 H 5	170 (16.671)	300	+30 ± +120	-5 ± +10	-15	-40	+15	50	50	-20	-30	-5 ± +10	-70	-50
BH 803	80 H 5	30 (2.9420)	100	+20 ± +80	-5 ± +10	-15	-40	+15	45	50	-15	-30	-5 ± +10	-45	-30
BH 807	80 H 5	70 (6.8647)	100	+20 ± +80	-5 ± +10	-15	-40	+15	45	50	-15	-30	-5 ± +10	-45	-30
BH 810	80 H 5	100 (9.8066)	100	+20 ± +80	-5 ± +10	-15	-40	+15	45	50	-15	-30	-5 ± +10	-45	-30
BH 814	80 H 5	140 (13.729)	150	+20 ± +80	-5 ± +10	-15	-40	+15	45	50	-15	-30	-5 ± +10	-45	-30
BH 903	90 H 5	30 (2.9420)	50	+10 ± +70	-5 ± +10	-15	-40	+10	45	50	-15	-30	-5 ± +5	-40	-20
BH 907	90 H 5	70 (6.8647)	100	+10 ± +70	-5 ± +10	-15	-40	+10	45	50	-15	-30	-5 ± +5	-40	-20
BH 910	90 H 5	100 (9.8066)	150	+10 ± +70	-5 ± +10	-15	-40	+10	45	50	-15	-30	-5 ± +5	-40	-20
BH 914	90 H 5	140 (13.729)	150	+10 ± +70	-5 ± +10	-15	-40	+10	45	50	-15	-30	-5 ± +5	-40	-20

K 0380-1976