


พอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติกับเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน  
สำหรับคอนแทกซ์แวนเคเบิลมีความเป็นฉนวนสูง



นางสาว กรรณิษฐ์ แพรไพสิฐ

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0868-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NATURAL RUBBER/ETHYLENE PROPYLENE DIENE BLENDS  
FOR HIGH INSULATION IRON CROSSARM



Miss Kornteenee Pairpisit

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science  
Chulalongkorn University

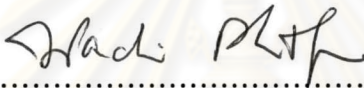
Academic Year 2002

ISBN 974-17-0868-8

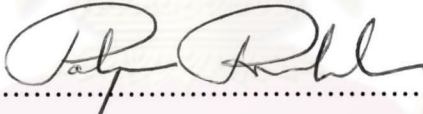
**Thesis Title** NATURAL RUBBER/ETHYLENE PROPYLENE DIENE  
BLENDS FOR HIGH INSULATION IRON CROSSARM  
**By** Miss Kornteenee Pairpisit  
**Field of Study** Petrochemistry and Polymer Science  
**Thesis Advisor** Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.


---

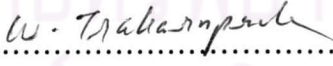
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

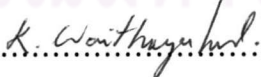
  
..... Dean of Faculty of Science  
(Associate Professor Wanchai Phothiphichitr, Ph.D.)


Thesis committee

  
..... Chairman  
(Professor Pattrapan Prasassarakich, Ph.D.)

  
..... Thesis Advisor  
(Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.)

  
..... Member  
(Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk, Ph.D.)

  
..... Member  
(Kamthon Waithayakul, Ph.D.)


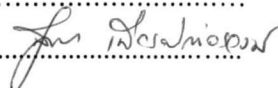
  
..... Member  
(Varaporn Kajornchaikul, M.Phil.)

กรณีศึกษา แพร่ไฟลิ่ง : พอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติกับเอทิลีน โพรพิลีน ไดอินสำหรับคอน  
 เหล็กแขวนเคเบิลมีความเป็นฉนวนสูง (NATURAL RUBBER/ETHYLENE PROPYLENE  
 DIENE BLENDS FOR HIGH INSULATION IRON CROSSARM)  
 อาจารย์ที่ปรึกษา: ศ.ดร. สุดา เกียรติคำจรวงศ์; 111 หน้า ISBN 974-17-0868-8.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบและพฤติกรรมของยางผสมระหว่างยางพาราและยางเอทิลีน  
 โพรพิลีน ไดอิน เมื่อเปลี่ยนปริมาณของเขม่าดำ (N330) ที่ 0-30 ส่วนต่อร้อยส่วนของยาง โดยพิจารณา  
 ในกรณีของสมบัติความต้านทานไฟฟ้า การทดสอบแรงดันเบรกดาวน์ และสมบัติทางกายภาพ ซึ่งยาง  
 ผสมที่มีสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นฉนวนสำหรับคอนเหล็กแขวนเคเบิลนั้น จะ  
 พิจารณาถึงความเข้ากันได้และสมบัติทางกายภาพที่เพิ่มขึ้น ผลของการเปลี่ยนปริมาณของสารช่วย  
 ประสานต่อความเข้ากันได้ของยางผสม โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราด นิวเคลียร์  
 แมกเนติกเรโซแนนซ์แบบพัลส์ สมบัติการไหลและศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง  
 ความต้านทานแรงฉีก ความยืดที่จุดขาด และความแข็ง ผลของการเปลี่ยนสัดส่วนระหว่างยางพาราและ  
 ยางเอทิลีน โพรพิลีน ไดอินในยางผสม เมื่อใช้ซิลิกาความเข้มข้นคงที่ต่อการต้านทานโอโซน ผลจาก  
 การวิจัยพบว่าปริมาณเขม่าดำมากที่สุดคือ 10 ส่วนต่อร้อยส่วนของยางเพื่อให้ยางผสมมีความเป็น  
 ฉนวนเหมาะสมสำหรับใช้เป็นผิวเคลือบ และสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 10 kVac สารช่วยประสานมี  
 ผลทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมเพิ่มขึ้นและปริมาณที่เหมาะสมต่อความเข้ากันได้ของยางผสมคือ  
 5 ส่วนต่อร้อยส่วนของยาง โดยยืนยันได้จากการเบี่ยงเบนทางบวกของความหนืดที่วัดได้จากยางผสม  
 จากการคำนวณโดยกฎของ log additivity นอกจากนี้ผลของนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์แบบพัลส์  
 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยประสานทำให้เวลาการผ่อนคลายของสปริงกับสปริง ( $T_2$ ) ของทั้ง 3 องค์ประกอบ  
 ลดลง เนื่องจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของยางผสมได้รับการยับยั้งด้วยสารช่วยประสาน และพบ  
 ว่าสัดส่วนของยางพาราและยางเอทิลีน โพรพิลีน ไดอินในยางผสมที่คงสมบัติการต้านทานแก๊สโอโซน  
 คือ 80/20 โดยมีซิลิกา 30 ส่วนต่อร้อยส่วนของยาง เพราะการเติมซิลิกายังช่วยให้การเปลี่ยนแปลง  
 สมบัติทางความร้อนและเชิงกลหลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนลดน้อยลงด้วย ผลของเติมซิลิกาช่วย  
 เสริมยางเอทิลีน โพรพิลีน ไดอิน 20 ส่วนต่อร้อยส่วนของยางในยางธรรมชาติ 80 ส่วน ในการปรับปรุง  
 สมบัติการต้านทานแก๊สโอโซนโดยไม่ต้องใช้สารกันเสื่อมปกติในยางธรรมชาติ

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์  
 หลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์  
 ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## 4373401423 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEY WORD: NATURAL RUBBER/EPDM/ELASTOMER BLEND

**KORNTEENEE PAIRPISIT: NATURAL RUBBER/ETHYLENE PROPYLENE  
DIENE BLENDS FOR HIGH INSULATION IRON CROSSARM. THESIS ADVISOR:  
PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D. 111 p. ISBN 974-17-0868-8.**

This research studied composition and behavior of natural rubber (NR) and ethylene propylene diene (EPDM) blends at carbon black concentrations (0-30 phr) in terms of electrical resistivity, dielectric breakdown voltage testing, and physical properties. The blends having the electrical properties suitable for application in high insulation iron crossarms were selected for investigation of compatibility and increased physical properties. Effect of the homogenizing agent concentration on improvement of compatibility of blends was studied by scanning electron microscopy, pulsed-nuclear magnetic resonance spectroscopy, rheology technique, and mechanical properties, such as, tensile strength, tear strength, elongation at break, and hardness. Effect of the NR/EPDM blends filled with a fixed concentration of silica was investigated for ozone resistance. The carbon black content as high as 10 phr is still suitable for the insulation coating material, which can withstand electrical voltage at 10 kVac. Addition of the homogenizing agent of 5 phr can increase the mechanical properties of blends as evidenced by the positive deviation of shear viscosity of the rubber blend, as resulting from the calculated shear viscosity being higher than that of experimental data. Moreover, the pulsed NMR results indicated that the spin-spin relaxation ( $T_2$ ) of all three components of the rubber blend was compressed upon the addition of the homogenizing agent. The ratio of NR/EPDM blend, which resists the ozone gas is 80/20 by the addition of silica of 30 phr into the blend. Besides that, the filled NR/EPDM with silica decreased the change of thermal and mechanical properties of blends after thermal ageing. The synergistic effect of silica content and high NR content (80) in 20 phr EPDM could improve antioxidation by ozone in the absence of normal antioxidant for natural rubber.

Field of Study Petrochemistry and Polymer Science.

Student's signature .....

Program Petrochemistry and Polymer Science.

Advisor's signature .....

Academic year 2002

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author gratefully acknowledges her thesis advisor, Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D. for her encouragements, invaluable suggestions and help throughout the experimental technique, and thesis writing up period. Moreover, the author appreciates highly her kind instructions in documentation and her moral supports.

The author expresses her thankfulness to the chairman and members of thesis committee, Prof. Pattaphan Prasassarakich, Ph.D., Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk, Ph. D., Kamthon Waithayakul, Ph.D., Varaporn Kajornchaikul, M.Phil., for their guidance, suggestions and comments. Thanks go to Professor Toshio Nishi, Ph.D. Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, University of Tokyo, for the pulsed-NMR experiment.

The author is very grateful to all her office mates and co-workers at the Telephone Organization of Thailand for their support, encouragement and understanding throughout this schooling period.

Special thanks are due to the Rubber Research Institute, Department of Agriculture, Thailand, for permission of access to mixing machines and testing instruments, as well as guidance of instrument operation and data acquisition.

Finally the author would like to express her gratitude to her parents, and thanks to her brothers, sisters for their enduring love and support throughout her research period.

## CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (in Thai).....	iv
ABSTRACT (in English).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xii
LIST OF FIGURES.....	xv
LIST OF SYMBOLS & ABBREVIATIONS .....	xix
<b>CHAPTER I INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objectives.....	2
1.2 Scope of the present thesis.....	3
<b>CHAPTER II THEORY AND LITERATURE REVIEWS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Rubber blends .....	4
2.1.1 Mechanical blending.....	4
2.1.2 Mixing equipment for mechanical blending.....	6
2.2 Natural rubber .....	8
2.2.1 Production.....	8
2.2.2 Properties of natural rubber.....	9
2.3 Ethylene propylene diene monomer (EPDM) and ethylene propylene monomer (EPM).....	10
2.3.1 Structure and properties .....	11

CONTENTS (cont.)	PAGE
2.3.2 Classification .....	12
2.3.3 Applications.....	13
2.4 Compatibility method.....	13
2.4.1 Compatibility limitations.....	14
2.4.2 Compatibility improvement.....	15
2.5 Vulcanization.....	16
2.5.1 Sulfur vulcanization.....	18
2.5.2 Accelerated sulfur systems.....	18
2.5.3 Accelerator activators.....	19
2.6 Reinforcing fillers.....	20
2.6.1 Carbon black.....	20
2.6.2 Silica.....	23
2.7 Electrical properties.....	25
2.7.1 Volume and surface resistivity (insulation resistance).....	25
2.7.2 Dielectric strength.....	27
2.8 Ozone resistance.....	27
2.9 Literature reviews.....	29
<b>CHAPTER III EXPERIMENTAL.....</b>	<b>31</b>
3.1 Chemicals and instruments.....	31
3.1.1 Chemicals.....	31
3.1.2 Instruments.....	32
3.2 Procedures .....	32
3.2.1 The control of rubber viscosity .....	32



<b>CONTENTS (cont.)</b>	<b>PAGE</b>
3.2.2 Rubber compounding.....	33
3.2.3 Determination of the vulcanization characteristics of compounded rubber.....	34
3.2.4 Preparation of blend compounds.....	35
3.3 Testing of electrical properties of the blends.....	38
3.3.1 Volume resistivity and surface resistivity.....	38
3.3.2 Dielectric strength.....	39
3.4 Determination of the NR/EPDM compatibility.....	40
3.4.1 Thermal analysis by differential scanning calorimetry (DSC) and dynamic mechanical thermal analysis (DMTA).....	40
3.4.2 Scanning electron microscopy.....	40
3.4.3 Capillary rheometry.....	41
3.4.4 Pulsed nuclear magnetic resonance (Pulsed NMR).....	41
3.5 Mechanical testing.....	42
3.5.1 Tensile properties.....	42
3.5.2 Hardness measurement.....	43
3.5.3 Tear resistance.....	43
3.6 Ageing tests.....	44
3.6.1 Thermal Aging.....	44
3.6.2 Ozone resistance test.....	44
<b>CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>45</b>
4.1 The controlling of rubber viscosity .....	45
4.2 Vulcanization characteristics.....	46

<b>CONTENTS (cont.)</b>	<b>PAGE</b>
4.3 Effect of carbon black concentration on electrical properties of rubber compounds/blends.....	47
4.4 Effect of homogenizing agent concentration on the compatibility of NR/EPDM blends.....	51
4.4.1 Effect of homogenizing agent concentration on mechanical properties of NR/EPDM blends.....	52
4.4.2 Effect of silica on mechanical properties of NR/EPDM blends.....	55
4.4.3 Characterization of blends by differential scanning calorimetry (DSC) and dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) .....	59
4.4.4 Characterization of blends by scanning electron microscopy (SEM).....	65
4.4.5 Rheological characterization.....	68
4.5 Homogeneity of blends by pulsed NMR .....	71
4.6 The Effect of natural rubber content on vulcanization characteristics and properties.....	74
<b>CHAPTER V CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS.....</b>	<b>79</b>
5.1 Conclusions.....	79
5.2 Suggestions for future work.....	80
<b>REFERENCES.....</b>	<b>82</b>
<b>APPENDICES.....</b>	<b>86</b>
<b>APPENDIX A.....</b>	<b>87</b>

CONTENTS (cont.)	PAGE
APPENDIX B.....	95
APPENDIX C.....	103
APPENDIX D.....	107
VITA.....	111



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## LIST OF TABLES

Tables	Page
Table 2.1	Average physical properties of natural rubber..... 10
Table 2.2	Average physical properties of EPDM..... 11
Table 3.1	Chemicals used in this study..... 31
Table 3.2	Recipe of rubber compounds/blends in the presence of carbon black (N330) in NR/EPDM blends..... 36
Table 3.3	Recipe of NR/EPDM blends in the presence of Ultrablend 4000..... 36
Table 3.4	Recipes of NR/EPDM blends containing fillers (carbon black and silica) ..... 37
Table 3.5	Recipes of NR/EPDM blend ratios and Ultrablend 4000..... 38
Table 4.1	Effect of mastication time of the NR on Mooney viscosity..... 46
Table 4.2	Effect of high concentration carbon black on vulcanizate properties..... 48
Table 4.3	Effect of low concentration carbon black on vulcanizate properties..... 50
Table 4.4	Effect of homogenizing agent concentration on vulcanizate properties of NR/EPDM blends..... 52
Table 4.5	Dependence of tensile strength and elongation at break of NR/EPDM blends (70/30) on the concentrations of the homogenizer..... 55
Table 4.6	Comparison of fillers (silica and carbon black) on vulcanizate properties of NR/EPDM blends..... 56

## LIST OF TABLES (cont.)

Tables	Page
Table 4.7	Glass transition temperatures from DMTA measurement of cured NR and EPDM, homogenizing agent, and NR/EPDM blends.....63
Table 4.8	Shear viscosity of (70/30) NR/EPDM blends with the homogenizing agent from experiment versus log additivity rule model.....69
Table 4.9	The results of the fractional of (70/30) NR/EPDM blends.....72
Table 4.10	The results of temporal $T_2$ of (70/30) NR/EPDM blends.....72
Table 4.11	Effect of NR concentration on properties of NR/EPDM blends.....75
Table 4.12	Effect of silica filler on NR/EPDM blends.....78
Table A.1	The specification of EPDM.....88
Table A.2	The specification of natural rubber.....89
Table A.3	The specification of Ultrablend 4000.....89
Table A.4	The specification of zinc oxide.....90
Table A.5	The specification of MBTS.....91
Table A.6	The specification of TMTD.....92
Table A.7	The specification of carbon black (N330).....93
Table A.8	The specification of silica (Ultrasil VN3).....93
Table A.9	The specification of poly(ethylene glycol).....94
Table A.10	The specification of EF 44.....94
Table B.1	Tensile strength of (70/30) NR/EPDM blends at Ultrablend 4000 concentrations of 0, 3, 5, and 7 phr.....96
Table B.2	Tensile strength of (70/30) NR/EPDM blends containing fillers (carbon black and silica).....97

### LIST OF TABLES (cont.)

<b>Tables</b>		<b>Page</b>
Table B.3	Tensile strength of (70/30) NR/EPDM blends at carbon black concentrations of 0, 3, 5, 7, 10, 20, and 30 phr.....	98
Table B.4	Tensile strength of filled and unfilled NR/EPDM blends.....	99
Table B.5	Tear strength of (70/30) NR/EPDM blends at Ultrablend 4000 concentrations of 0, 3, 5, and 7 phr.....	100
Table B.6	Tear strength of (70/30) NR/EPDM blends filled with silica at Ultrablend 4000 concentrations of 0, 3, 5, and 7 phr.....	100
Table B.7	Tear strength of (70/30) NR/EPDM blends at carbon black concentrations of 0, 3, 5, 7, 10, 20 and 30 phr.....	101
Table B.8	Tear strength of filled and unfilled NR/EPDM blends.....	102
Table C.1	Property range of the vulcanized compounded NR/EPDM.....	104
Table D.1	Dependence of volume resistivity and surface resistivity of NR/EPDM blends on carbon black concentration.....	109
Table D.2	Dependence of volume resistivity and surface resistivity of NR/EPDM blends on homogenizing agent concentration.....	110

ศูนย์ถ่ายทอดวิทยาการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## LIST OF FIGURES

Figures		Page
Figure 2.1	Schematic diagram of two-roll mill.....	6
Figure 2.2	Schematic section of the internal mixer.....	7
Figure 2.3	<i>Cis</i> - and <i>trans</i> - configurations of polyisoprene.....	9
Figure 2.4	Some structures of the third monomer for EPDM.....	12
Figure 2.5	A concept of rubber vulcanization.....	17
Figure 2.6	Sulfur crosslink structures.....	18
Figure 2.7	Typical properties of carbon black.....	22
Figure 2.8	Overview in furnace types of carbon black.....	23
Figure 2.9	Mineral-based fillers and rubber reinforcement.....	24
Figure 2.10	Effect of silica on mechanical properties.....	25
Figure 3.1	Flowchart of rubber compounding/composition.....	34
Figure 3.2	Connections to guarded electrodes for volume and surface resistivity measurements.....	39
Figure 3.3	Block diagram of the real-time pulsed NMR measurement system controlled by a microcomputer.....	42
Figure 3.4	Dumbbell shape specimen for tensile property testing.....	43
Figure 3.5	Angle shaped specimen for tear resistance testing.....	44
Figure 4.1	Stiffness-time curves shows vulcanization characteristic of compounded rubber.....	47

### LIST OF FIGURES (cont.)

Figures	Page
Figure 4.2	Effect of carbon black concentrations on volume resistivity of the rubber...49
Figure 4.3	Effect of homogenizing agent concentration on tensile strength of NR/EPDM blends.....53
Figure 4.4	Effect of homogenizing agent concentration on tear strength of NR/EPDM blends.....53
Figure 4.5	Effect of homogenizing agent concentration on hardness of NR/EPDM blends.....54
Figure 4.6	Comparison of tensile strength of the NR/EPDM blends between silica unfilled and filled blends.....57
Figure 4.7	Comparison of tear strength of the NR/EPDM blends between silica unfilled and filled blends.....57
Figure 4.8	Comparison of hardness of the NR/EPDM blends between silica unfilled and filled blends.....58
Figure 4.9	DSC thermogram of vulcanized natural rubber.....59
Figure 4.10	DSC thermogram of vulcanized EPDM.....60
Figure 4.11	DSC thermograms of Ultrablend 4000.....60
Figure 4.12	DMTA thermogram in the absence of Ultrablend 4000 in NR/EPDM Blends.....61
Figure 4.13	DMTA thermogram in the presence of 3 phr of Ultrablend 4000 concentration of NR/EPDM blends.....61
Figure 4.14	DMTA thermogram in the presence of 5 phr of Ultrablend 4000 concentration of NR/EPDM blends.....62



## LIST OF FIGURES (cont.)

Figures	Page
Figure 4.15 DMTA thermogram in the presence of 7 phr of Ultrablend 4000 concentration of NR/EPDM blends.....	62
Figure 4.16 FT-IR spectrum of Ultrablend 4000.....	64
Figure 4.17 SEM micrograph of (70:30) NR/EPDM blend, without addition of homogenizing agent, and stained with osmium tetroxide.....	66
Figure 4.18 SEM micrograph of (70:30) NR/EPDM blend, filled with homogenizing agent (Ultrablend4000), 3 phr, and stained with osmium tetroxide.....	66
Figure 4.19 SEM micrograph of (70:30) NR/EPDM blend, filled with homogenizing agent (Ultrablend 4000), 5 phr, and stained with osmium tetroxide.....	67
Figure 4.20 SEM micrograph of (70:30) NR/EPDM blend, filled with homogenizing agent (Ultrablend 4000), 7 phr, and stained with osmium tetroxide.....	67
Figure 4.21 Comparison of apparent shear viscosity at apparent shear rate of 20, 40, 90 and 180 s <sup>-1</sup> for (70:30) NR/EPDM blend with the homogenizing agent...	70
Figure 4.22 Relationship between apparent shear rate and apparent shear stress of (70:30) NR/EPDM blend with the homogenizing agent.....	71
Figure 4.23 Temporal change of the $T_2$ value for NR/EPDM blends v.s the homogenizing agent concentrations.....	73
Figure 4.24 Fraction for NR/EPDM blends v.s. the homogenizing agent concentrations.....	73
Figure 4.25 Effect of NR/EPDM blend ratio on tensile strength.....	76
Figure 4.26 Effect of NR/EPDM blend ratio on tear strength.....	76
Figure 4.27 Effect of NR/EPDM blend ratio on hardness.....	77

### LIST OF FIGURES (cont.)

<b>Figures</b>		<b>Page</b>
Figure C.1	Rheograph of NR/EPDM blends at carbon black concentrations of 10, 20, and 30 phr.....	105
Figure C.2	Rheograph of NR/EPDM blends at carbon black concentrations of 0, 3, 5, and 7 phr.....	105
Figure C.3	Rheograph of NR/EPDM blends at homogenizing agent concentrations Of 0, 3, 5, and 7 phr.....	106
Figure C.4	Rheograph of NR/EPDM blends containing carbon black and silica fillers.....	106
Figure C.5	Rheograph of NR/EPDM blends at ratios of NR/EPDM (80/20, 70/30, and 60/40 ).....	107
Figure C.6	Rheograph of NR/EPDM blends filled with silica at ratios of NR/EPDM (100/0, 80/20, 70/30, 60/40, and 0/100 ).....	107

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## LIST OF SYMBOLS & ABBREVIATIONS

ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BR	:	Butadiene Rubber
CR	:	Chloroprene Rubber
DC	:	Direct Current
DCPD	:	Dicyclopentadiene
DPG	:	Diphenylguanidine
DSC	:	Differential Scanning Calorimetry
ENB	:	Ethylidene norbornene
EPDM	:	Ethylene Propylene Diene Rubber
EPM	:	Ethylene Propylene Rubber
FAF	:	Fast-Extrusion Furnace Black
HAF	:	High-Abrasion Furnace Black
ISO	:	International Organization for Standardization
K	:	Kelvin
MBTS	:	Dibenzothiazole disulfide
MBT	:	2-Mercaptobenzothiazole
MHz	:	Mega Hertz
min	:	Minute
MPa	:	Mega Pascal
MT	:	Medium Thermal Black
NMR	:	Nuclear Magnetic Resonance
NR	:	Natural Rubber
ODR	:	Oscillating Dish Rheometer

PEG	:	Poly(ethyene glycol)
phr	:	Part per Hundred Rubber
ppm	:	Part per Million
rpm	:	Rounds per Minute
SBR	:	Styrene Butadiene Rubber
SEM	:	Scanning Electron Microscopy
$T_g$	:	Glass Transition Temperature
TMTD	:	Tetramethyl thiuram disulphide
TOT	:	Telephone Organization of Thailand
ZMBT	:	Zinc Mercaptobenzothiazole
$\Omega$	:	Ohms



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย