สารบัญ

คำนำ iii

สารบัญ v

บทที่ 1 คอนฟอร์เมชันของโมเลกุลพอลิเมอร์ (Conformations of Polymer Molecules)

1.1 บทนำ 1

1.2 การหากระจายตัวเกาเซียนของสายโซ่โมเลกุลแบบสุ่มใน 1 มิติ (Derivation of the Gaussian Distribution for a Random Chain in One Dimension) 3

1.3 Freely Jointed Chain ใน 1 มิติ 6

1.4 Freely Jointed Chain ใน 3 มิติ 9

1.5 The Equivalent Freely Jointed Chain 13

1.6 การคำนวณหารูปร่างโดยเฉลี่ยของแบบจำลองพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กัน 15

1.6.1 Freely Rotating Chain 15

1.6.2 Hindered Rotation Chain 17

1.6.3 Characteristic Ratio (C_n) 20

1.7 รัศมีไจเรชัน (Radius of Gyration, $\langle R_g \rangle$) 22

1.8 ผลของอันตรกิริยาในช่วงสั้น (Short Range Interactions) และช่วงยาว (Long Range Interactions) ต่อรูปร่างโมเลกุลพอลิเมอร์ 22

1.9 รูปร่างของโมเลกุลพอลิเมอร์ในสภาวะที่ไม่ถูกรบกวน (Unperturbed Dimension of Polymer Molecule) 23

เอกสารอ้างอิง 24

บทที่ 2 ความยืดหยุ่นอย่างยาง (Rubber Elasticity)

2.1 บทนำ 27

2.2 การผิดรูปและการทดสอบเชิงกล (Deformation and Mechanical Testing) 27

2.2.1 การอัดทุกทิศทาง (Isotropic Compression) 28

2.2.2 การยืดออกในแนวแกนเดียว (Uniaxial Extension) 28

2.2.3 การเฉือน (Simple Shear) 30

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสและอัตราส่วนปัวส์ซอง 30
2.3 เงื่อนไขของความยืดหยุ่นอย่างยาง (Conditions for Rubber Elasticity) 31
2.4 จุดกำเนิดของแรงยืดหยุ่นในโมเลกุลของยาง (The Origin of the Elastic Force for the Rubber Molecules) 32
2.5 ทฤษฎีของความยืดหยุ่นอย่างยาง (Theory of Rubber Elasticity) 35
2.5.1 ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ของความยืดหยุ่นอย่างยาง (Thermodynamic Theory of Rubber Elasticity) 35
2.5.1.1 Thermoelastic Inversion 35
2.5.1.2 ความสัมพันธ์เชิงเทอร์โมไดนามิก (Thermodynamic Relationship) 36
2.5.2 ทฤษฎีโมเลกุลของความยืดหยุ่นอย่างยาง (Molecular Theory of Rubber Elasticity) 44
2.5.2.1 ความยืดหยุ่นของหนึ่งโมเลกุล (Elasticity of Isolated Chain) 44
2.5.2.2 ความยืดหยุ่นของโครงข่ายโมเลกุลของยาง (Elasticity of Rubber Network) 45
2.5.2.3 โครงสร้างของโครงข่ายโมเลกุลยาง (Structure of Rubber Network) 46
2.5.2.4 แบบจำลอง Affine (Affine Model) 48
2.5.2.5 แบบจำลอง Phantom (Phantom Model) 49
2.5.2.6 เปรียบเทียบแบบจำลอง Affine และแบบจำลอง Phantom 51
2.5.2.7 สมการสภาวะของความยืดหยุ่น 51
2.5.3 ทฤษฎีเชิงปรากฏการณ์ (Phenomenological Theory of Rubber Elasticity) 56
เอกสารอ้างอิง 62
บทที่ 3 วิสโคอิลาสติกเชิงเส้น(Linear Viscoelasticity)
3.1 บทนำ 65
3.2 การวัดสมบัติวิสโคอิลาสติกของพอลิเมอร์ (Measurement of Viscoelastic Properties of Polymers) 69
3.2.1 การคืบ (Creep) 69
3.2.2 การคลายความเค้น (Stress Relaxation) 70
3.2.3 สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) 73

3.3 หลักการซ้อนทับของโบลท์ซมานน์ (Boltzmann Superposition Principle) 77
3.4 ภาพในระดับโมเลกุล (Molecular Pictures) 80
3.5 แบบจำลองวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic Models) 80
3.5.1 แบบจำลองเชิงกล (Mechanical Model) 81
3.5.1.1 แบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell Model) 81
3.5.1.2 แบบจำลองโฟกท์ (Voigt Model) 90
3.5.1.3 แบบจำลองแมกซ์เวลล์ทั่วไป (Generalized Maxwell Model or Maxwell-Wiechert Model) 95
3.5.1.4 แบบจำลองโฟกท์ทั่วไป (Generalized Voigt Model or Kelvin-Voigt Model) 102
3.5.1.5 การกระจายตัวของเวลาคลายตัวและเวลาหน่วง (Distribution of Relaxation and Retardation Times) 106
3.6 พฤติกรรมวิสโคอิลาสติก 4 บริเวณ (Four Regions of Viscoelastic Behavior) 107
3.7 หลักการซ้อนทับกันของเวลาและอุณหภูมิ (Time-Temperature Superposition) 111
3.7.1 กราฟมาสเตอร์ (Master Curve) 114
3.7.2 สมการWLF (WLF or Williams, Landel, and Ferry Equation) 114
3.8 คำอธิบายเชิงโมเลกุลของพฤติกรรมวิสโคอิลาสติก (Molecular Interpretation of Viscoelastic Behavior) 118
เอกสารอ้างอิง 122
บทที่ 4 ความแข็งแรงของยาง (Strength of Rubber)
4.1 จุดกำเนิดของการแตกหัก (Initiation of Fracture) 125
4.1.1 รอยตำหนิ (Flaw) และตัวเพิ่มความเค้น (Stress Raiser) 125
4.1.2 เงื่อนไขพลังงานสำหรับการแตกหัก (Energy Criteria for Fracture) 127
4.1.3 ชิ้นทดสอบแบบดึง (Tensile Test Piece) 129
4.1.4 ชิ้นทดสอบแบบฉีก (Tear Test Piece) 131
4.1.5 ความแข็งแรง Threshold (Threshold Strength) 133
4.1.6 ทฤษฎีโมเลกุลของความแข็งแรง Threshold (Molecular Theory for Threshold Strength) 133
4.2 การขยายของรอยแตก (Crack Propagation) 136
4.2.1 ยางอสัณฐาน (Amorphous Rubber) 138
4.2.2 ยางที่สามารถตกผลึกได้เมื่อเกิดความเครียด (Strain Crystallizing Rubber) 141

4.2.3 ยางที่เสริมแรงด้วยสารตัวเติมอนุภาค (Particulate Filler-Reinforced Rubber) 142
4.3 การขยายของรอยแตกภายใต้ความเค้นเชิงพลวัต (Crack Propagation under Dynamic Stressing) 144
4.3.1 คุณลักษณะการขยายของรอยแตก (Crack Growth Characteristic) 144
4.3.2 การหาอายุความล้าจากคุณลักษณะการขยายของรอยแตก (Determination of Fatigue Life from Crack Growth Characteristic) 146
4.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการขยายของรอยแตกเนื่องจากความล้า (Factor Affecting Fatigue Crack Growth) 151
4.3.3.1 โครงสร้างทางเคมีของยางหรือชนิดของยาง 151
4.3.3.2 ระบบการวัลคาไนซ์และมอดุลัสความยืดหยุ่น 154
4.3.3.3 ออกซิเจนและความถี่ 155
4.3.3.4 ผลของการควบคุมความเครียดต่ำสุดในรอบของการผิดรูป 156
4.3.3.5 ผลของโอโซน 157
4.3.3.6 ผลของเขม่าดำ 158
4.4 การแตกหักเนื่องจากการดึง (Tensile Rupture) 158
4.4.1 ผลของอุณหภูมิและอัตราการทดสอบ (Effect of Temperature and Rate of Strain) 159
4.4.2 Failure envelope 162
4.4.3 ผลของปริมาณและชนิดของพันธะเชื่อมโยง (Effect of Crosslink Density and Crosslink Types) 163
4.4.4 พลังงานชดเชยและความแข็งแรง (Energy Dissipation and Strength) 165
4.4.5 ผลของการตกผลึก (Effect of Crystallization) 166
4.5 การสึกหรอ (Wear) 167
4.5.1 ความเสียดทาน (Friction) 168
4.5.2 ผลของความเร็วไถลและอุณหภูมิต่อความเสียดทานของยาง 169
4.5.2.1 ความเสียดทานของยางบนผิวที่เรียบและแห้ง (Friction of Rubber on Dried and Smooth Surface) 169
4.5.2.2 ความเสียดทานของยางบนผิวขรุขระและแห้ง (Friction of Rubber on Dried and Rough Surface) 171

4.5.2.3 ความเสียดทานของยางบนผิวเปียก (Friction of Rubber on Wet Surface) 174
4.5.2.4 อิทธิพลของการคอมเปาด์ต่อความเสียดทานของยาง (Influence of Compounding on Friction of Rubber) 175
4.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียดทานและการสึกหรอ (Relationship between Friction and Wear) 176
4.5.4 การสึกหรอจากการขัดถู (Abrasive Wear) 177
4.5.4.1 การสึกหรอของยางบนผิวที่คม (Abrasion of Rubber on Sharp Track) 178
4.5.4.2 การสึกหรอของยางบนผิวทื่อ (Abrasion of Rubber on Blunt Track) 179
4.5.4.3 รูปแบบการสึกหรอ (Abrasion Pattern) 180
4.5.4.4 การสึกหรอโดยใบมีด (Abrasion by a Blade) 183
4.5.5 ผลทางเคมี (Chemical Effects) 186
เอกสารอ้างอิง 187
บทที่ 5 การเสริมแรงของยางด้วยสารตัวเติมอนุภาค(Reinforcement of Rubber by Particulate Fillers)
5.1 บทนำ 191
5.2 ยางดิบ (Raw Rubbers) 192
5.3 การเสริมแรงของยางโดยสารตัวเติมอนุภาค (Reinforcement of Rubber by Particulate Fillers) 193
5.3.1 ชนิดของสารตัวเติมอนุภาค (Types of Particulate Fillers) 193
5.3.1.1 เขม่าดำ (Carbon Black) 193
5.3.1.2 ซิลิกา (Silica) 193
5.3.2 สมบัติของสารตัวเติมอนุภาคและการวิเคราะห์ (Properties of Particulate Fillers and Characterization) 194
5.3.2.1 เขม่าดำ (Carbon Black) 194
5.3.2.2 ซิลิกา (Silica) 198
5.4 อันตรกิริยาระหว่างยางและสารตัวเติม (Rubber-Filler Interactions) 201
5.4.1 ผลของขนาดอนุภาคของสารตัวเติมต่อ Bound Rubber (Role of Particle Size of Filler on Bound Rubber) 203

5.5 สมบัติเชิงกลของยางผสมสารตัวเติม (Mechanical Properties of Filled Rubbers) 207
5.5.1 สมบัติของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ (Properties of Unvulcanized Rubbers) 207
5.5.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ (Properties of Vulcanized Rubber) 209
5.5.2.1 สมบัติของยางที่ความเครียดต่ำและปานกลาง (Properties at Small and Medium Strain) 210
5.5.2.2 สมบัติของยางที่ความเครียดสูง (Properties at Large Strain) 220
เอกสารอ้างอิง 224
บทที่ 6 เทอร์โมไดนามิกส์ของสารละลายพอลิเมอร์ (Thermodynamics of Polymer Solutions)
6.1 บทนำ 229
6.2 เอนโทรปีของการผสมของสารละลายของตัวทำละลายและตัวถูกละลายโมเลกุลเล็ก (Entropy of Mixing of Solutions of Small Solvent and Solute Molecules) 231
6.3 เอนโทรปีของการผสมของสารละลายพอลิเมอร์ (Entropy of Mixing of Polymer Solutions) 234
6.4 เอนทาลปีและพลังงานอิสระของการผสมของสารละลายพอลิเมอร์ (Enthalpy and Free Energy of Mixing of Polymer Solutions) 238
6.5 ศักย์เคมีและแอ็คติวิตีของตัวทำละลายในสารละลายพอลิเมอร์ (Chemical Potential and Activity of Solvent in Polymer Solutions) 241
6.6 พารามิเตอร์การละลายและพารามิเตอร์อันตรกิริยา (Solubility Parameter and the Flory-Huggins χ_1 Interaction Parameter) 243
6.7 สารละลายพอลิเมอร์เจือจาง (Dilute Polymer Solutions) 243
6.7.1 อันตรกิริยาเทอร์โมไดนามิกภายในบริเวณที่มีความเข้มข้นของส่วนของโมเลกุลพอลิเมอร์โดยเฉลี่ยอย่างสม่ำเสมอ (Thermodynamic Interaction within the Region of Uniform Average Segment Concentration) 244
6.8 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของ Flory-Huggins (Applications of Flory-Huggins Theory) 253
6.8.1 พฤติกรรมเฟสของสารละลายพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม (Phase Behavior of Polymer Solutions and Blends) 253

6.8.2 เปรียบเทียบผลการทดลองกับการทำนายทางทฤษฎี-ข้อจำกัดของทฤษฎี Flory-Huggins (Comparison between Experimental Results and Theoretical Prediction – Limitations of the Flory-Huggins Theory) 259
6.8.3 การบวมพองของโครงข่ายโมเลกุลยาง (Swelling of Rubber Networks) 261
6.8.3.1 ทฤษฎีของการบวมพอง (Theory of Swelling) 262
เอกสารอ้างอิง 265
ภาคผนวก 1 การคำนวณหารัศมีไจเรชัน 267
ภาคผนวก 2 สมการสภาวะความยืดหยุ่น (Elastic Equation of State) 275
ภาคผนวก 3 แบบจำลองของแข็งมาตรฐาน (Standard Solid Models) 279
ภาคผนวก 4 ความสมมูลของอัตราการทดสอบและอุณหภูมิ (Rate-Temperature Equivalence) 291
ภาคผนวก 5 พลังงานการฉีกขาดของชิ้นทดสอบแบบฉีก (Tearing Energy of Tear Specimen) 299
ภาคผนวก 6 การหาระยะห่างระหว่างอนุภาคสำหรับระบบลูกบาศก์ (Determination of Particle Spacing for Cubic Systems) 305
ดรรชนี 311

ซื้อ
2 ต.ค. 53

ฟิสิกส์ของยาง

ดุลยพงษ์ ดุลยพิทักษ์
ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ISBN: 978-974-11-4988-9
พิมพ์ครั้งที่ 1: พฤศจิกายน พ.ศ. 2552

ราคา 350 บาท

เลขหมู่ 547.842
ด 47
2550
เลขทะเบียน 17739
วันที่ 31 ส.ค. 2553
105472

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุด กรมวิทยาศาสตร์บริการ
1110012460

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์ปัตตานีการช่าง 148/259 หมู่ 6 ถ.โรงเหล้าสาย ข ต.รูสะมิแล อ.เมือง จ.ปัตตานี
94000 โทรศัพท์ 073-348695

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี