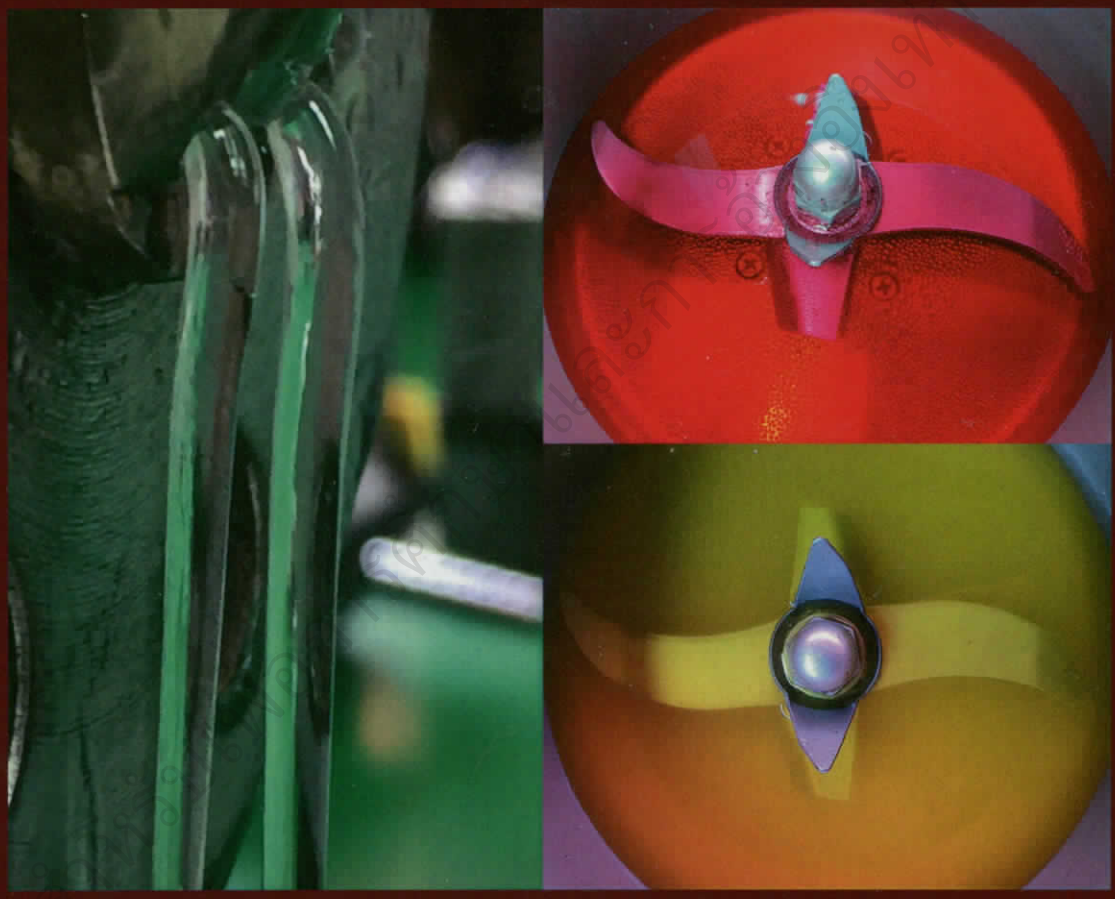
RHEOLOGY OF VISCOELASTIC MATERIALS

CHANYUT KOLITAWONG



รีโอโลยีของวัสดุหยุ่นหนืด

ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ห้องสมุดเทเวศร์
401016992

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ตั้งใจที่จะเรียบเรียงขึ้นเป็นวิชาเฉพาะสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี และเป็นเอกสารเบื้องต้นสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว นอกจากนั้นหนังสือเล่มนี้ยังมีประโยชน์กับนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์หลอมเหลวด้วย นอกจากนี้หนังสือเล่มนี้ยังเหมาะสำหรับวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจในพฤติกรรมการไหลของวัสดุพอลิเมอร์หลอมเหลว เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมพลาสติก และยาง เช่น กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding) กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) กระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์ (Compression molding) ในอุตสาหกรรมอาหารและยา และในการศึกษาการไหลของเลือดในวิศวกรรมชีวภาพ (Bioengineering)

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของวัสดุพอลิเมอร์เป็นศาสตร์ที่ต้องทำความเข้าใจในหลายสาขาวิชา เช่น เคมี ฟิสิกส์ และคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะกลศาสตร์ความต่อเนื่อง (Continuum mechanics) ซึ่งเป็นพื้นฐานของกฎอนุรักษ์ทั้งหลาย เช่น กฎการอนุรักษ์มวล กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และกฎการอนุรักษ์พลังงาน แต่การที่จะเชื่อมโยงกลศาสตร์ของพอลิเมอร์หลอมเหลวให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้นั้น ต้องมีความเข้าใจกายภาพของพอลิเมอร์ด้วย หนังสือเล่มนี้จึงเริ่มจากการศึกษากายภาพของพอลิเมอร์ทั้งในสถานะของแข็ง และขณะที่หลอมเหลว ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาสมการแสดงพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวซึ่งต้องใช้ความเข้าใจกลศาสตร์ความต่อเนื่องเพื่อนำไปอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของพอลิเมอร์หลอมเหลวด้วยสมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนในการพัฒนาความเข้าใจในพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวสำหรับวิศวกรการผลิตในประเทศไทยเพิ่มขึ้นไม่มากก็น้อย

หนังสือเล่มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรก (บทที่ 1-3) จะกล่าวถึงกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ ส่วนที่ 2 (บทที่ 4-10) จะวิเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยหลักการของกลศาสตร์ของไหล เมื่อสารละลายพอลิเมอร์และพอลิเมอร์หลอมเหลวมีพฤติกรรมการไหลเชิงเส้น และในส่วนที่ 3 (บทที่ 11-13) จะนำเสนอสมการแบบจำลองของพอลิเมอร์ที่มีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุพอลิเมอร์เป็นศาสตร์ที่ต้องใช้ความรู้ในหลายสาขาวิชา หนังสือเล่มนี้จึงเกิดจากการรวบรวมองค์ความรู้จากหนังสือหลายเล่ม บทความวิจัยอีกหลายร้อยฉบับที่ผู้เขียนเรียบเรียงใช้สอนในวิชาวิศกรรมพอลิเมอร์ และได้มีการรวบรวมบทความทางวิชาการหลาย ๆ ตอนที่ข้าพเจ้าได้เขียนลงตีพิมพ์ในวารสารที่ตีพิมพ์ทั้งในและต่างประเทศเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งผู้อ่านสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงท้ายเล่ม

สำหรับนักศึกษา ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ นายสุทธินันท์ ลีวุฒินันท์ นายพงศ์เทพ พ่วงทอง คุณภัทรศยา ตันติวัฒนกูล และรัตนาภรณ์ พรหมจริยากุล ที่มีส่วนช่วยในการจัดเตรียมรูปและกราฟในหนังสือเล่มนี้ ขอบคุณ ดร.บารมี ปัทมพรหม และ ดร.นฤพนธ์ เอี่ยมนิพนธ์ ที่ช่วยเรียบเรียงเนื้อหาบางส่วน และสุดท้าย คุณสุมนต์ชัย สุธีรวัฒนานนท์ ผู้อำนวยการกองส่งเสริมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยอ่านทวน แนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงหนังสือให้มีความเรียบร้อยยิ่งขึ้น

ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น

สารบัญ

คำนำ ..... ค
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ณ
บทที่ 1 โมเลกุลของพอลิเมอร์ 1
1.1 พอลิเมอร์คืออะไร 1
1.2 การแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ 2
1.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ 4
1.3.1 การสังเคราะห์แบบเติม 4
1.3.2 การสังเคราะห์แบบขั้น 8
1.4 การยึดเกาะของสายโซ่โมเลกุล 8
1.5 องค์ประกอบภายในโมเลกุลพอลิเมอร์ 10
1.6 มวลโมเลกุลสัมพัทธ์และการกระจายตัวของมวลโมเลกุล 11
1.7 รูปทรงสันฐานของโมเลกุลพอลิเมอร์ 16
1.8 บทสรุป 19
1.9 คำถามท้ายบท 20
บทที่ 2 โครงสร้างของพอลิเมอร์ 23
2.1 โครงสร้างของพอลิเมอร์ 23
2.1.1 พอลิเมอร์ที่ไม่เรียงตัวเป็นผลึก 24
2.1.2 พอลิเมอร์ที่เรียงตัวกันเป็นผลึก 24
2.1.3 พอลิเมอร์ที่เรียงตัวกันเป็นผลึกบางส่วน 24
2.2 ตัวแปรที่ทำให้เรียงตัวเป็นผลึก 25
2.3 สัณฐานของผลึกพอลิเมอร์ 26
2.3.1 ผลึกเดี่ยว 28
2.3.2 ผลึกทรงบอล 28
2.3.3 ผลึกทรงชิชเคบับ 30
2.4 ปริมาณการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ 31
2.5 รูปร่างของพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นผลึก 33
2.5.1 สายโซ่ต่อกันอย่างอิสระ 35

สำหรับนักศึกษาและอาจารย์ในสังกัด

2.5.2 สายโซ่ต่อกันแบบเกาส์ 37
2.6 ทิศทางของสายโซ่โมเลกุล 40
2.7 บทสรุป 44
2.8 คำถามท้ายบท 44
บทที่ 3 พฤติกรรมของพอลิเมอร์ 47
3.1 บทนำ 47
3.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วและอุณหภูมิหลอมละลาย 47
3.2.1 อุณหภูมิหลอมละลาย 48
3.2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว 49
3.3 ผลของการดึงเย็นต่อทิศทางของสายโซ่โมเลกุล 51
3.4 พฤติกรรมของพอลิเมอร์เหลว 53
3.4.1 ความหนืดเปลี่ยนไปตามอัตราเฉือน 53
3.4.2 ความแตกต่างของความเค้นตั้งฉาก 54
3.4.3 การไหลในทิศทางรอง 56
3.4.4 พฤติกรรมที่เกิดจากความหยุ่นหนืด 56
3.5 บทสรุป 61
3.6 คำถามท้ายบท 62
บทที่ 4 เวกเตอร์และเทนเซอร์ 63
4.1 บทนำ 63
4.2 ปริมาณสเกลาร์ 64
4.3 ปริมาณเวกเตอร์ 65
4.3.1 ระบบพิกัด 65
4.3.2 พีชคณิตของเวกเตอร์ 67
4.3.3 ดัชนีบ่งชี้ของเวกเตอร์ 72
4.4 ปริมาณเทนเซอร์ 75
4.4.1 ไดแอดโปรดักต์ 75
4.4.2 พีชคณิตของเทนเซอร์ 76
4.4.3 ดัชนีบ่งชี้ของเทนเซอร์ 80
4.4.4 ความหมายและนิยามของเทนเซอร์ 82
4.4.5 ค่าสเกลาร์คงตัวของเทนเซอร์ 85
4.4.6 ค่าหลักและทิศทางหลักของเทนเซอร์ 86

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

4.5 การอนุพันธ์เวกเตอร์และเทนเซอร์ 90
4.5.1 การอนุพันธ์เวกเตอร์ 90
4.5.2 เกรเดียนต์ของปริมาณสเกลาร์ 90
4.5.3 เกรเดียนต์ของปริมาณเวกเตอร์ 91
4.5.4 ไดเวอร์เจนต์ของปริมาณเวกเตอร์ 91
4.5.5 เคิร์ลของปริมาณเวกเตอร์ 92
4.5.6 ลาปลาสเซียนของปริมาณสเกลาร์ 92
4.5.7 ลาปลาสเซียนของปริมาณเวกเตอร์ 93
4.5.8 อนุพันธ์สำคัญกับปริมาณสเกลาร์ 93
4.5.9 อนุพันธ์สำคัญกับปริมาณเวกเตอร์ 93
4.5.10 การอนุพันธ์เทนเซอร์และไดแอด 94
4.6 เวกเตอร์และเทนเซอร์ในระบบพิกัดโค้ง 95
4.6.1 ระบบพิกัดทรงกระบอก 95
4.6.2 ระบบพิกัดทรงกลม 99
4.6.3 ระบบพิกัดทรงกระบอกเยื้องศูนย์ 102
4.7 บทสรุป 105
4.8 คำถามท้ายบท 105
บทที่ 5 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น 107
5.1 บทนำ 107
5.2 สภาวะไม่เลื่อนไหล 107
5.3 ประเภทของการไหล 108
5.3.1 การไหลที่คิดค่าความหนืดและการไหลที่ไม่คิดค่าความหนืด 108
5.3.2 การไหลภายใน-การไหลท่วมวัตถุ และการไหลในช่องเปิด 109
5.3.3 การไหลแบบกดอัดได้และแบบกดอัดไม่ได้ 110
5.3.4 การไหลราบเรียบและการไหลปั่นป่วน 111
5.3.5 การไหลตามธรรมชาติและการไหลแบบบังคับ 111
5.3.6 การไหลแบบคงตัวและการไหลไม่คงตัว 112
5.3.7 การไหลแบบ 1, 2 และ 3 มิติ 112
5.4 กลศาสตร์ความต่อเนื่อง 114
5.5 การสังเกตการณ์แบบลากลางค์และออยเลอร์ 115
5.6 ปริมาณในสนามการไหล 118

สำนักบรรณสารสนเทศและการศึกษา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ

5.6.1 สนามความเร็ว....118
5.6.2 สนามความเร่ง....121
5.7 อนุพันธ์สำคัญ....123
5.8 ความหนืด....124
5.9 จลนศาสตร์ของไหล....126
5.9.1 การเลื่อนเชิงเส้น....127
5.9.2 การเสียรูปเชิงเส้น....128
5.9.3 การหมุน....130
5.9.4 การบิดเบี้ยวเปลี่ยนรูปเชิงมุม....133
5.10 เทนเซอร์อัตราเครียด....133
5.11 บทสรุป....135
5.12 คำถามท้ายบท....136
บทที่ 6 กฎการอนุรักษ์....139
6.1 บทนำ....139
6.2 กฎอนุรักษ์มวล....141
6.3 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม....143
6.3.1 วิธีกำหนดแรงบนพื้นผิว....143
6.3.2 แรงกระทำ....145
6.3.3 สมการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้น....148
6.3.4 สมการการเคลื่อนที่....149
6.3.5 พฤติกรรมการไหล....152
6.3.6 ของไหลนิวโทเนียน....155
6.4 กฎการอนุรักษ์พลังงาน....167
6.5 ค่าขอบ....170
6.5.1 ค่าขอบสำหรับของไหลที่สัมผัสกับวัตถุ....170
6.5.2 ค่าขอบสำหรับของไหลที่สัมผัสกับของไหล....170
6.5.3 ค่าขอบสำหรับการไหลที่สมมาตร....171
6.6 การวิเคราะห์ทางมิติ....172
6.7 บทสรุป....177
6.8 คำถามท้ายบท....178
บทที่ 7 รีโอโลยีและสมบัติของวัสดุ....181

7.1 บทนำ 181
7.2 การไหลแบบเฉือน 182
7.2.1 สัมประสิทธิ์ผลต่างความเค้นตั้งฉาก 187
7.2.2 ความหนืดและมอดุลัสยืดหยุ่น 188
7.3 การไหลแบบยืดดึง 189
7.3.1 การยืดดึงทิศทางเดียว 191
7.3.2 การยืดดึงสองทิศทาง 196
7.3.3 การยืดดึงในระนาบ 200
7.4 บทสรุป 205
7.5 คำถามท้ายบท 2066
บทที่ 8 การทดสอบสมบัติรีโอโลยี 207
8.1 บทนำ 207
8.2 การทดสอบเฉือน 208
8.2.1 การเฉือนคงตัว 210
8.2.2 การเฉือนเป็นรอบ 211
8.2.3 การเกิดความเค้นเฉือน 218
8.2.4 การสลายความเค้น 219
8.2.5 การคลายความเค้นเฉือน 219
8.2.6 การคืบเฉือน 222
8.2.7 การคลายความเค้นคืบเฉือน 224
8.2.8 การคืบเฉือนตามด้วยการคลายความเค้นคืบเฉือน 225
8.3 การทดสอบยืดดึง 226
8.3.1 การยืดดึงคงตัว 227
8.3.2 การยืดหดเป็นรอบ 230
8.3.3 การเกิดความเค้นยืดดึง 234
8.3.4 การคลายความเค้นยืดดึง 237
8.3.5 การคืบยืดดึง 240
8.3.6 การคลายความเค้นคืบยืดดึง 242
8.4 การควบรวมด้านเวลาและอุณหภูมิ 242
8.4.1 การควบรวมด้านอุณหภูมิของค่าความหนืด 242
8.4.2 การควบรวมด้านเวลาของฟังก์ชันรีโอโลยีอื่น ๆ 246

สำหรับนักศึกษาและอาจารย์ภายในเท่านั้น

8.4.3 ตัวประกอบการเลื่อน....247
8.4.4 ความสัมพันธ์อื่น ๆ....249
8.4.5 การประยุกต์ใช้งาน....250
8.5 บทสรุป....256
8.6 คำถามท้ายบท....257
บทที่ 9 ของไหลคล้ายนิวโทเนียน....259
9.1 บทนำ....259
9.2 ของไหลเพาเวอร์ลอว์....260
9.3 ของไหลคาร์วล์-ยาชูดะ....267
9.4 ของไหลบิงก์แฮม....269
9.5 ของไหลเฮอร์เชลบัล์กเลย์....276
9.6 บทสรุป....279
9.7 คำถามท้ายบท....280
บทที่ 10 วัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้น....283
10.1 บทนำ....283
10.2 ของไหลนิวโทเนียนและของแข็งฮุกเกียน....284
10.3 สมการแสดงพฤติกรรมหยุ่นหนืดเบื้องต้น....286
10.3.1 แบบจำลองของวอยก์....287
10.3.2 แบบจำลองแมกซ์เวลล์....288
10.3.3 แบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์....290
10.3.4 แบบจำลองเจ็ฟฟรีส์....2912
10.4 สมบัติหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไป....300
10.5 ข้อจำกัดของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้น....306
10.6 การบ่งชี้พฤติกรรมการไหล....307
10.7 บทสรุป....316
10.8 คำถามท้ายบท....317
บทที่ 11 จลศาสตร์การเสียรูปไม่เป็นเชิงเส้น....321
11.1 บทนำ....321
11.2 การอ้างอิงรูปทรงที่เวลาคงที่....322
11.2.1 การเสียรูป....322
11.2.2 ความเครียด....325

11.2.3 อัตราการเสียรูป....329
11.3 การอ้างอิงรูปทรงที่เวลาสัมพัทธ์ในปัจจุบัน....337
11.3.1 การเสียรูปสัมพัทธ์....338
11.3.2 ความเครียดสัมพัทธ์....341
11.3.3 อัตราการเสียรูปสัมพัทธ์....349
11.3.4 อนุพันธ์พัดพา....351
11.4 บทสรุป....354
11.5 คำถามท้ายบท....355
บทที่ 12 วัสดุยืดหยุ่นสูงไม่เป็นเชิงเส้น....357
12.1 บทนำ....357
12.2 แกนหลักและแกนเคลื่อนที่....357
12.2.1 สิ่งที่เห็นไม่แตกต่างกัน....361
12.2.2 การเปลี่ยนระบบแกน....362
12.3 ความเครียดและความเค้น....364
12.3.1 ความเครียด....365
12.3.2 ความเค้น....366
12.4 พฤติกรรมของวัสดุยืดหยุ่นสูง....368
12.5 บทสรุป....370
12.6 คำถามท้ายบท....370
บทที่ 13 วัสดุหยุ่นหนืดไม่เป็นเชิงเส้น....373
13.1 บทนำ....373
13.2 ความเครียดและความเค้นสัมพัทธ์....373
13.2.1 ความเครียดสัมพัทธ์....374
13.2.2 อัตราเครียดสัมพัทธ์....376
13.2.3 ความเค้นสัมพัทธ์....383
13.2.4 อัตราเค้นสัมพัทธ์....384
13.3 พฤติกรรมของวัสดุหยุ่นหนืดไม่เป็นเชิงเส้น....387
13.3.1 แบบเพิ่มอัตราเครียด....387
13.3.2 แบบเพิ่มอัตราเค้น....394
13.3.3 แบบอินทิกรัล....409
13.3.4 แบบจำลองอื่น ๆ....416

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ

13.4 บทสรุป.....417
13.5 คำถามท้ายบท.....418
ภาคผนวก ก สมการควบคุมในระบบแกนพิกัดฉาก ทรงกระบอก และทรงบอล.....421
ภาคผนวก ข ข้อมูลของไหลเพาเวอร์ลอว์.....433
ภาคผนวก ค คณิตศาสตร์พื้นฐาน.....439
ดัชนีค้นคำ.....447
เอกสารอ้างอิง.....491

สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น

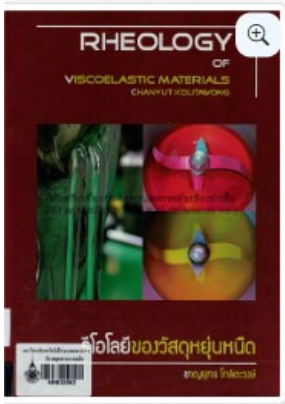
สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

https://lib.rmutp.ac.th/bibitem?bibid=b00106739

รีโอโลยีของวัสดุหยุ่นหนืด = Rheology of viscoelastic materials / ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์.

ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์.

Suggest friends | My list



Subject	กลศาสตร์ของไหล. วัสดุวิสโคอิลาสติก. วิทยาศาสตร์การไหล. ความหนืด. โพลิเมอร์. ของไหล. วัสดุ -- สมบัติทางกล. กลศาสตร์ของไหล.

Details

Published	กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564.
Edition	พิมพ์ครั้งที่ 1.
Detail	ม, 506 หน้า : ภาพประกอบ ; 26 ซม.
ISBN	9786165774383

2 | 11 | 0

MARC | Export | Save | Share

สำหรับเพื่อการศึกษาและการอ้างอิงเท่านั้น