สารบัญ

คำนำ

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 นิยามของวัสดุคอมโพสิต 2

1.2 พอลิเมอร์และเส้นใย 3

1.3 กระบวนการขึ้นรูป 13

1.4 การใช้งานวัสดุคอมโพสิต 20

1.4.1 อุตสาหกรรมอากาศยาน 21

1.4.2 อุตสาหกรรมยานยนต์ 23

1.4.3 งานวิศวกรรมโยธาและโครงสร้าง 26

1.4.4 อุปกรณ์กีฬาและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ 30

แบบฝึกหัด 31

เอกสารอ้างอิง 32

บทที่ 2 การทบทวนกลศาสตร์ของวัสดุ **37**

2.1 ความเค้น 37

2.1.1 ความหมายของความเค้น 38

2.1.2 ความเค้นที่จุด 39

2.1.3 การแปลงความเค้น 42

2.1.4 ความเค้นหลักและความเค้นเฉือนในระนาบสูงสุด 47

2.1.5 การแปลงความเค้นใน 3 มิติ 52

2.2 ความเครียด 54

2.2.1 ความหมายของความเครียด 54

2.2.2 ความเครียดที่จุด 55

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเคลื่อนที่ 57

2.2.4 การแปลงความเครียด 60

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด 63

2.3.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุ 64
2.3.2 กฎของฮุคสำหรับวัสดุไอโซทรอปิก 66
2.4 บทสรุป 71
แบบฝึกหัด 71
เอกสารอ้างอิง 75

บทที่ 3 ประเภทและสมบัติของวัสดุ 77
3.1 วัสดุแอนไอโซทรอปิก 78
3.2 การทดสอบวัสดุ 81
3.2.1 การทดสอบแรงดึงตามแนวแกน 82
3.2.2 การทดสอบแรงกด 84
3.2.3 การทดสอบแรงเฉือน 86
3.3 สมบัติที่เกี่ยวกับความแข็งเกร็ง 89
3.4 ความแข็งเกร็งของวัสดุออร์โททรอปิกและวัสดุไอโซทรอปิกตามขวาง 96
3.5 สมบัติด้านความแข็งแรง 101
3.6 สมบัติที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น 108
3.6.1 ความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยน 108
3.6.2 ความเครียดเนื่องจากปริมาณความชื้นเปลี่ยน 111
3.7 สมบัติของวัสดุตามกฎของส่วนผสม 113
3.7.1 ความหนาแน่น ρ_c 114
3.7.2 มอดุลัสตามแนวเส้นใย E_{11} 117
3.7.3 มอดุลัสตามแนวขวางเส้นใย E_{22} 118
3.7.4 มอดุลัสเฉือน G_{12} 120
3.7.5 อัตราส่วนปัวซง ν_{12} 121
3.8 บทสรุป 123
แบบฝึกหัด 124
เอกสารอ้างอิง 127

บทที่ 4 ความเค้นและความเครียดในชั้นลามินา 131
4.1 ความเครียดที่เกิดจากภาระทางกล 131

4.2 ความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม 137
4.3 ความเครียดในวัสดุออร์โททรอปิกและไอโซทรอปิกตามขวาง 141
4.4 คอมโพสิตทิศทางเดียวรับความเค้นระนาบ 151
4.5 ความเค้นและความเครียดนอกระบบพิกัดหลักของวัสดุ 158
4.6 สมบัติยังผลของวัสดุคอมโพสิตทิศทางเดียว 173
แบบฝึกหัด 181
เอกสารอ้างอิง 183

บทที่ 5 เกณฑ์ความเสียหายของลามินา **185**
5.1 แนวคิดพื้นฐาน 186
5.2 เกณฑ์ความเค้นสูงสุด 190
5.3 เกณฑ์ความเครียดสูงสุด 198
5.4 เกณฑ์ของฮิลล์ 204
5.5 เกณฑ์ของไซ-ฮิลล์ 205
5.6 เกณฑ์ของไซ-วู 211
แบบฝึกหัด 220
เอกสารอ้างอิง 223

บทที่ 6 ทฤษฎีลามิเนชัน **225**
6.1 แผ่นลามิเนต 226
6.2 ความเค้นลัพธ์และโมเมนต์ลัพธ์ 228
6.3 การเปลี่ยนรูปและความเครียดในแผ่นบาง 233
6.4 ความเค้นในชั้นลามินา 241
6.5 ทฤษฎีลามิเนชันแบบคลาสสิก 248
6.6 เมทริกซ์ *ABD* สำหรับลามิเนตแบบต่าง ๆ 259
6.6.1 วัสดุไอโซทรอปิก 259
6.6.2 วัสดุไอโซทรอปิกตามขวาง 261
6.6.3 ลามิเนตแบบสมมาตร 263
6.6.4 ลามิเนตแบบขวาง 264
6.6.5 ลามิเนตแบบสมดุล 265

6.6.6 ลามิเนตทำมุมแบบสมดุล 266
6.6.7 ลามิเนตแบบไอโซทรอปิกเสมือน 267
6.6.8 ลามิเนตแบบปฏิสมมาตร 269
6.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม 271
6.8 สมบัติยังผลของแผ่นลามิเนต 284
6.9 ความแข็งแรงของแผ่นลามิเนต 291
6.9.1 ความแข็งแรงของแผ่นลามิเนตโดย CLT 292
6.9.2 ดีลามิเนชันจากความเค้นระหว่างชั้นลามินา 301
แบบฝึกหัด 305
เอกสารอ้างอิง 311

บทที่ 7 คานคอมโพสิต 313

7.1 บทนำ 313
7.2 คานไอโซทรอปิก 316
7.3 คานคอมโพสิตรับแรงในแนวแกน 320
7.4 คานคอมโพสิตรับโมเมนต์ดัด 323
7.4.1 สมบัติยังผลภายใต้ภาระดัด 323
7.4.2 ความเครียดในคานคอมโพสิตรับโมเมนต์ดัด 326
7.5 ระยะโก่งของคานคอมโพสิต 328
แบบฝึกหัด 336
เอกสารอ้างอิง 338

บทที่ 8 การวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นบาง 339

8.1 บทนำ 339
8.2 ภาระที่กระทำบนแผ่นบาง 340
8.3 สมการสมดุล 345
8.4 เงื่อนไขขอบเขต 351
8.5 การโก่งของแผ่นคอมโพสิต 359
8.6 การโก่งเดาะของแผ่นคอมโพสิต 364
8.7 การสั่นสะเทือนของแผ่นคอมโพสิต 379

แบบฝึกหัด 388
เอกสารอ้างอิง 390

บทที่ 9 หลักการพลังงานและเทคนิคการทดลอง 391

9.1 บทนำ 392
9.2 หลักการพลังงานศักย์รวมต่ำสุด 392
9.2.1 พลังงานความเครียดจากความเค้นลัพธ์และโมเมนต์ลัพธ์ 393
9.2.2 พลังงานความเครียดจากการโก่งเนื่องจากความเค้นลัพธ์ในระนาบ 397
9.2.3 พลังงานจลน์ของแผ่นลามิเนต 399
9.2.4 งานเนื่องจากแรงตามขวาง 400
9.3 ระเบียบวิธีริทซ์ 401
9.3.1 การโก่งเดาะของแผ่นลามิเนต 401
9.3.2 การสั่นสะเทือนของแผ่นลามิเนต 408
9.3.3 ฟังก์ชันการเคลื่อนที่นอกระนาบ 414
9.4 ระเบียบวิธีแคนโทโรวิช 418
9.5 ระเบียบวิธีการทดลอง 423
9.5.1 การระบุภาระโก่งเดาะ 425
9.5.2 ชุดทดลองการโก่งเดาะ 430
9.5.3 รูปร่างการโก่งเดาะ 433
9.5.4 ทฤษฎีความคล้าย 436
แบบฝึกหัด 440
เอกสารอ้างอิง 441

ภาคผนวก 445

บรรณานุกรม 455

ดรรชนี 457

ประวัติผู้เขียน 463