

eBook



กลศาสตร์วัสดุ

Mechanics of Materials



รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว

กลศาสตร์วัสดุ

Mechanics of Materials

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว



สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

วังบูรพา : 860-862 ถนนมหาไชย แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200

โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 แฟกซ์ 0-2225-3300

ปิ่นเกล้า : 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

โทร. 0-2434-8814-5 แฟกซ์ 0-2424-0152



กลศาสตร์วัสดุ Mechanics of Materials

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว

ราคา 260 บาท

จัดทำเป็นฉบับ E-Book ครั้งที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2569

หนังสือเล่มนี้สงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2558

ห้ามผู้ใดพิมพ์ซ้ำ ลอกเลียน ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้

ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ชาตรี หอมเขียว.

กลศาสตร์วัสดุ = Mechanics of Materials.- กรุงเทพฯ : ไอเดียสโตร์, 2569.

364 หน้า.

1. กลศาสตร์วัสดุ. I. ชื่อเรื่อง.

620.11

ISBN (e-book) 978-616-538-347-9

ผู้จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์

บรรณาธิการบริหาร : ประสาร สันติวัฒนา บรรณาธิการวิชาการ : ภูสิทธิ พลายนภฎ กองบรรณาธิการ : สนธยา ราชีทอง
อิติมา เพ็ชรศรี พิสูจน์อักษร : จิระภรณ์ ศักดิ์แก้ว ฝ่ายศิลปกรรม : กองสุพันธ์ ขวาเปาะ ประยง อ่อนแสง
ปัญญา ผูกสินธุ์ เอกพันธ์ ขวาเปาะ รูปเล่มและอาร์ตเวิร์ค : ชัยวัฒน์ แก้วกู่ เรียงพิมพ์ : ณศวรรณ พลสมัคร
ออกแบบปก : อีรพล ศรีสวัสดิ์ ประสานงานการผลิต : ปิยะวัลย์ พันธุ์แจ่ม กัญญา วงศ์ภาคำ อรณา คงสุวรรณ

สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์ขอเรียนเชิญครู-อาจารย์และบุคคลทั่วไปทุกท่านที่สนใจในงานเรียบเรียงการเขียนเอกสาร
ประกอบการสอน เอกสารคำสอน ตำรา หนังสือ รายงานการพัฒนา นวัตกรรม งานประดิษฐ์ รวมทั้งผลงานทาง
วิชาการทุกสาขา และมีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลงานถูกต้องตามหลักวิชาการให้อีกด้วย ทั้งนี้ให้ส่งสำเนาต้นฉบับ ประวัติ
สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ ที่อยู่ ที่สามารถติดต่อได้สะดวกมาในนาม บรรณาธิการ สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์
1/35-39 ถนนบรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

ในกรณีที่ท่านต้องการซื้อเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการสอน การฝึกอบรม และส่งเสริมการขาย เป็นต้น
กรุณาติดต่อสอบถามราคาพิเศษได้ที่ สำนักพิมพ์ไอเดียสโตร์ทุกสาขา : สาขาปิ่นเกล้า : โทร. 0-2434-8814-5;
สาขาวังบูรพา : โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567

พิมพ์ที่ โอ. เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์

113/13 ซอยวัดสุวรรณคีรี ถนนบรมราชชนนี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

โทร. 0-2433-3653, 0-2434-6850-1

คำนิยม

วิชากลศาสตร์วัสดุ (Mechanics of Materials) เป็นวิชาพื้นฐานที่สำคัญสำหรับวิศวกรในหลายสาขา ตำราวิชากลศาสตร์วัสดุของ รศ.ดร.ชาตรี หอมเขียว เล่มนี้เป็นตำราที่เรียบเรียงได้ดีมากเล่มหนึ่ง มีเนื้อหาที่ครอบคลุมหัวข้อสำคัญ ๆ ของวิชากลศาสตร์วัสดุ โดยมีทั้งส่วนที่เป็นทฤษฎีและตัวอย่างการคำนวณ ทำให้ผู้อ่านเข้าใจเนื้อหาได้ง่าย อีกทั้งมีตัวอย่างที่มาจากงานวิจัยและงานภาคอุตสาหกรรม ทำให้ผู้อ่านเห็นการประยุกต์ใช้งานวิชากลศาสตร์วัสดุอย่างชัดเจน ตำราเล่มนี้จึงเป็นตำราที่เหมาะสมสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งผู้ที่เริ่มต้นศึกษาในวิชากลศาสตร์วัสดุ ซึ่งจะเห็นประโยชน์ของการศึกษาวิชานี้อย่างไม่คลุมเครือจากตำราเล่มนี้ ผมขอชื่นชมในความวิริยอุตสาหะของ รศ.ดร.ชาตรี หอมเขียว ในการเรียบเรียงตำราวิชากลศาสตร์วัสดุออกมาให้กับแวดวงวิชาการในครั้งนี้

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำนิยม

วิชากลศาสตร์วัสดุ (Mechanics of Materials) เป็นหนึ่งในรายวิชากลุ่มพื้นฐานทางวิศวกรรม ที่สำคัญต่อการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม เนื่องจากเป็นการประยุกต์ความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มาบูรณาการกับวิชาวัสดุวิศวกรรม และกลศาสตร์วิศวกรรม เพื่อใช้ในการออกแบบ วิเคราะห์ปัญหาทางกลอย่างเป็นรูปธรรม โดยจุดเด่นของตำราวิชากลศาสตร์วัสดุเล่มนี้ นอกเหนือจากเป็นตำราที่มีเนื้อหาครอบคลุมหัวข้อหลักของวิชากลศาสตร์วัสดุตามองค์ความรู้ของสภาวิศวกร ผ่านการเรียบเรียงเนื้อหาที่เหมาะสมในด้านทฤษฎี การคำนวณ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเด็นต่าง ๆ พร้อมการอ้างอิงที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้ผู้อ่านเข้าใจเนื้อหาอย่างเป็นระบบแล้ว ในบทที่ 4 ของตำราเล่มนี้ ได้กล่าวถึงสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ ซึ่งได้มาจากประสบการณ์การทำงานวิจัยของผู้แต่งเอง ส่งผลให้ตำรามีความทันสมัยทางวิชาการ ทำให้ผู้อ่านสามารถทราบแนวทางการประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบต่าง ๆ ในงานวิศวกรรมในอนาคตได้ ดังนั้นตำราเล่มนี้จึงเป็นตำราที่เหมาะสมสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งผู้ที่เริ่มต้นศึกษาในวิชากลศาสตร์วัสดุ หรือประยุกต์ต่อยอด สูดท้ายนี้ขอชื่นชมในความวิริยอุตสาหะของ รศ.ดร.ชาติรี หอมเขียว ในการเรียบเรียงตำราวิชากลศาสตร์วัสดุ ออกมาให้กับแวดวงวิชาการในครั้งนี้

รศ.ดร.จาร์วัฒน์ เจริญจิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คำนำ

ตำราเล่มนี้ผู้เขียนได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนรายวิชากลศาสตร์วัสดุ (Mechanics of Materials) ผู้เขียนได้เรียบเรียงขึ้นจากเอกสารตำรา หนังสือที่เกี่ยวข้อง และบทความวิจัย โดยเนื้อหามุ่งเน้นให้ผู้อ่านเกิดความรู้และมีทักษะการคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ที่เป็นโลหะและพลาสติก ซึ่งเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 9 บท ได้แก่ (1) แนะนำกลศาสตร์วัสดุ (2) ความเค้นและความเครียด (3) สมบัติทางกลของโลหะ (4) สมบัติทางกลของพลาสติกและวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ (5) แรงกระทำในแนวแกน (6) ทฤษฎีการบิด (7) ความเค้นในคาน (8) ความเค้นผสม และ (9) การต่อยึดชิ้นส่วน ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ศึกษาค้นคว้าได้ด้วยตนเอง และยังเป็นประโยชน์สำหรับอาจารย์ผู้สอนและผู้สนใจอีกด้วย

ผู้เขียนหวังว่า ตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาต่าง ๆ ที่เรียนรายวิชากลศาสตร์วัสดุ อาจารย์ผู้สอน และตลอดจนผู้สนใจ หรือวิศวกรออกแบบและสร้างเครื่องจักรกลตามสมควร ความดีของตำราเล่มนี้ ขอขอบพระคุณผู้เขียนตำรา หนังสือบทความวิจัยต่าง ๆ ในบรรณานุกรมทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่ผู้เขียนได้ใช้ศึกษาค้นคว้า และอ้างอิง ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์จรูญ เจริญเนตรกุล รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่เป็นผู้นำและคอยชี้แนะแนวทางในการเขียนตำราเล่มนี้

สุดท้าย ผู้เขียนขอขอบคุณครอบครัวทุกคนที่เป็นกำลังใจและเข้าใจมาโดยตลอด ที่ขาดไม่ได้คือนักศึกษาที่ช่วยในการตรวจทานและแก้ไขเนื้อหาในตำราเล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบคุณ คุณบัณฑิต ลีวิวัฒน์กุล และคุณสุนิตดา หวังพัฒน์ ที่ช่วยเขียนรูปในตำราเล่มนี้ นอกจากนี้ผู้เขียนและทีมนักศึกษาได้พยายามตรวจแก้ไขเนื้อหาหลายครั้ง แต่อาจยังมีข้อผิดพลาดอีก ซึ่งหากมีข้อผิดพลาดประการใด ขอโปรดแจ้งให้ผู้เขียนทราบเพื่อปรับปรุงแก้ไขในการพิมพ์ครั้งต่อไปด้วย ผู้เขียนขอน้อมรับคำแนะนำและติชมอื่น ๆ ด้วยความยินดี

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว

สารบัญ

หน้า

คำนิยาม

คำนำ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

บทที่ 1 แนะนำกลศาสตร์วัสดุ	1
1.1 หลักพื้นฐานกลศาสตร์วัสดุ	1
1.2 แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ	5
1.3 สมดุลของวัตถุที่เปลี่ยนรูปได้	7
1.4 แรงภายในของวัตถุภายใต้ภาระภายนอก	10
บทสรุป	18
แบบฝึกหัดท้ายบท	19
เอกสารอ้างอิง	22
บทที่ 2 ความเค้นและความเครียด	23
2.1 ความเค้นตั้งฉาก	23
2.2 ความเค้นเฉือนและความเค้นเบียดอัด	27
2.3 ความเครียด	36
2.4 ความเค้นที่ยอมได้และค่าความปลอดภัย	40
2.5 ความเค้นและความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	44
บทสรุป	47
แบบฝึกหัดท้ายบท	48
เอกสารอ้างอิง	52

บทที่ 3 สมบัติทางกลของโลหะ.....	53
3.1 การทดสอบการดึง.....	53
3.2 สมบัติที่ได้จากการทดสอบการดึง.....	61
3.3 กฎของฮุก และอัตราส่วนปัวส์ซอง	68
3.4 การทดสอบการกระแทก	72
3.5 การทดสอบความล้า	75
3.6 การทดสอบการคืบ.....	77
บทสรุป.....	80
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	83
บทที่ 4 สมบัติทางกลของพลาสติกและวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	85
4.1 สมบัติพื้นฐานของเทอร์โมพลาสติก	85
4.2 การทดสอบสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติก	88
4.3 สมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติก	94
4.4 พฤติกรรมยืดหยุ่นหนืดของพลาสติก	99
4.5 วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	111
4.6 สมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้	113
4.7 สมบัติการคืบของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	116
4.8 การเสื่อมในสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้	119
บทสรุป.....	123
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	125
เอกสารอ้างอิง.....	127
บทที่ 5 แรงกระทำในแนวแกน	131
5.1 การกระจายความเค้นของชิ้นส่วนที่รับแรงในแนวแกน	131
5.2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนที่รับแรงในแนวแกน	134
5.3 หลักการซ้อนทับ.....	140
5.4 ชิ้นส่วนอินดีเทอร์มิเนตรับแรงตามแนวแกน	142
5.5 ทฤษฎีการวิบัติ	147

บทสรุป.....	154
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	155
เอกสารอ้างอิง.....	159
บทที่ 6 ทฤษฎีการบิด.....	161
6.1 การเปลี่ยนรูปของเพลากลมที่รับภาระบิด.....	161
6.2 ความเค้นเฉือนในเพลากลม.....	164
6.3 มุมบิดของเพลากลม.....	170
6.4 เพลาคินติเทอร์มินต์รับภาระบิด.....	175
6.5 การส่งผ่านกำลังของเพลากลม.....	178
6.6 ภาระบิดของท่อผนังบาง.....	182
6.7 ภาระบิดของชิ้นส่วนที่หน้าตัดไม่เป็นวงกลม.....	188
บทสรุป.....	190
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	191
เอกสารอ้างอิง.....	195
บทที่ 7 ความเค้นในคาน.....	197
7.1 ทฤษฎีของคาน.....	197
7.2 แผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ตัดในคาน.....	202
7.3 ความเค้นดัดในคาน.....	208
7.4 การออกแบบคานเพื่อรับความเค้นดัด.....	214
7.5 ความเค้นเฉือนในคาน.....	219
บทสรุป.....	231
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	232
เอกสารอ้างอิง.....	236
บทที่ 8 ความเค้นผสม.....	237
8.1 ความเค้นภายใต้ภาระผสม.....	237
8.2 การแปลงความเค้นระนาบ.....	243
8.3 ความเค้นหลักและความเค้นเฉือนสูงสุด.....	246

8.4 การหาความเค้นโดยวงกลมของมอร์	252
8.5 ความเค้นในภาชนะผนังบางรับแรงดัน	257
บทสรุป	266
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	268
เอกสารอ้างอิง.....	271
บทที่ 9 การต่อยึดชิ้นส่วน.....	273
9.1 การต่อชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียว	273
9.2 รอยต่อด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียวที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง	285
9.3 การต่อยึดชิ้นส่วนด้วยการเชื่อม	289
9.4 รอยเชื่อมที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง.....	295
9.5 การต่อยึดชิ้นส่วนด้วยการเชื่อมเสียดทาน	297
บทสรุป	307
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	308
เอกสารอ้างอิง.....	312
บรรณานุกรม.....	315
ภาคผนวก	323
ภาคผนวก ก.....	323
ภาคผนวก ข.....	329
ดัชนี	333
ประวัติผู้เขียน.....	339

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด	45
ตารางที่ 3.1	ผลการทดสอบการดึงของแท่งอะลูมิเนียม และความเค้นกับ ความเครียดที่คำนวณได้.....	56
ตารางที่ 3.2	ค่าอัตราส่วนปัวส์ซองของโลหะชนิดต่าง ๆ.....	70
ตารางที่ 6.1	ค่าสัมประสิทธิ์ของ α และ β สำหรับเพลาน้ำตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	189
ตารางที่ 8.1	ค่าความเครียดและแรงดันที่เกิดขึ้นในกระป๋องน้ำอัดลม	265
ตารางที่ 9.1	รอยเชื่อมของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานในสภาวะต่าง ๆ.....	303
ตารางที่ 9.2	ความเค้นดึงและประสิทธิภาพรอยเชื่อมของวัสดุต่าง ๆ ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน	305

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	ความแตกต่างของศาสตร์ด้านกลศาสตร์.....	2
รูปที่ 1.2	ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงดึง.....	3
รูปที่ 1.3	ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงอัด (ก) เกิดการหดตัว และ (ข) เกิดการโก่งเดาะ....	3
รูปที่ 1.4	ชิ้นส่วน (ก) ก่อนรับแรงดัด และ (ข) หลังรับแรงดัด.....	4
รูปที่ 1.5	ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงบิด และเกิดมุมบิด.....	4
รูปที่ 1.6	ชิ้นส่วน (ก) ก่อนรับแรงเฉือน และ (ข) หลังรับแรงเฉือน	4
รูปที่ 1.7	แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับแบบต่าง ๆ.....	5
รูปที่ 1.8	แผนภาพวัตถุอิสระของ (ก) บาร์ และ (ข) คาน	6
รูปที่ 1.9	คานรับแรงในระนาบเดียว	7
รูปที่ 1.10	แรงภายในของวัตถุภายใต้ภาระภายนอก	11
รูปที่ 1.11	แรงภายในของวัตถุภายใต้ภาระภายนอกในระนาบเดียว.....	15
รูปที่ 2.1	การรับแรงของชิ้นส่วนตามแนวแกน.....	24
รูปที่ 2.2	การรับแรงเฉือนของชิ้นส่วน	28
รูปที่ 2.3	แรงเฉือนเดี่ยวในสลักเกลียว	28
รูปที่ 2.4	แรงเฉือนคู่ในสลักเกลียว.....	29
รูปที่ 2.5	แรงเฉือนในการเจาะโลหะแผ่น.....	31
รูปที่ 2.6	การเปียดัดของหมุดยึดกับชิ้นส่วน (ก) แผ่นต่อเกย (ข) ผิวสัมผัสรับการเปียดัด และ (ค) พื้นที่ฉायรับการเปียดัด.....	34
รูปที่ 2.7	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนเมื่อมีแรงมากระทำ.....	37
รูปที่ 2.8	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากรับแรงเฉือน.....	38
รูปที่ 2.9	การขยายตัวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลง.....	44
รูปที่ 2.10	ความเค้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นส่วน	46
รูปที่ 3.1	ชิ้นงานทดสอบการดึงลักษณะต่าง ๆ	54

รูปที่ 3.2	ลักษณะ (ก) เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ และ (ข) ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน	54
รูปที่ 3.3	อุปกรณ์และการติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบสมบัติ ทางกลอเนกประสงค์	55
รูปที่ 3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม	56
รูปที่ 3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม ของโลหะชนิดต่าง ๆ	57
รูปที่ 3.6	กราฟเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดจริงกับความเค้นและ ความเครียดทางวิศวกรรม	59
รูปที่ 3.7	กราฟ (ก) การคำนวณหาความแข็งแรงที่จุดครากโดยวิธี 0.2% ออฟเซต (ข) พฤติกรรมจุดครากบนและล่างของเหล็กคาร์บอนต่ำ	61
รูปที่ 3.8	การเกิดคอคอดของเหล็กกล้าหลังจากถูกดึงตามแนวแกน	62
รูปที่ 3.9	เปรียบเทียบพฤติกรรมในช่วงการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น ของเหล็กและอะลูมิเนียม	63
รูปที่ 3.10	พื้นที่ที่ใช้หาค่ามอดูลัสรีชีเลียน	65
รูปที่ 3.11	กราฟความเค้นและความเครียดของเหล็กเกรดต่าง ๆ	68
รูปที่ 3.12	การเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนที่รับแรงดึง	69
รูปที่ 3.13	ลักษณะชิ้นงานทดสอบและการจับชิ้นงานทดสอบ (ก) แบบชาร์ปี และ (ข) แบบไอซ็อด	72
รูปที่ 3.14	ลักษณะ (ก) เครื่องทดสอบการกระแทก และ (ข) หลักการทำงานเครื่องทดสอบการกระแทก	73
รูปที่ 3.15	ค่าการดูดซับพลังงานจากแรงกระแทกของเหล็กกล้า 0.6% C ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ	74
รูปที่ 3.16	ลักษณะ (ก) เครื่องทดสอบความล้า และ (ข) หลักการทดสอบความล้า	75
รูปที่ 3.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-จำนวนรอบ	76
รูปที่ 3.18	ลักษณะ (ก) เครื่องทดสอบการคืบพร้อมอุปกรณ์บันทึกข้อมูล และ (ข) ชิ้นงานอะลูมิเนียมทดสอบการคืบ	78
รูปที่ 3.19	เส้นโค้งการคืบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเครียด	79
รูปที่ 3.20	เส้นโค้งการคืบของอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 โดยทดสอบที่ อุณหภูมิ (ก) 150 °C และ (ข) 200 °C ที่ระดับความเค้นต่าง ๆ	80

รูปที่ 4.1	ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกชนิดต่าง ๆ	86
รูปที่ 4.2	หลักการทดสอบการดึง.....	88
รูปที่ 4.3	ลักษณะชิ้นงานทดสอบการดึงแบบ (ก) ดัมเบลล์แบบเอวกว้าง (ข) ดัมเบลล์แบบเอวแคบ และ (ค) สี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	89
รูปที่ 4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืดจากการทดสอบ การดึงของพลาสติก	90
รูปที่ 4.5	หลักการทดสอบการอัด	91
รูปที่ 4.6	ชิ้นงานทดสอบการอัดแบบปริซึมหน้าตัดสี่เหลี่ยม (ก) ผืนผ้า และ (ข) จัตุรัส	91
รูปที่ 4.7	การทดสอบการดัดแบบ 3 จุด	92
รูปที่ 4.8	หลักการทดสอบการดัด	92
รูปที่ 4.9	ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความเค้นและความเครียดของพอลิสไตรีน.....	94
รูปที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกในลอน.....	95
รูปที่ 4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติก ที่มีโครงสร้างกิ่งผลึก	96
รูปที่ 4.12	กราฟการคืบของพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดอะคริลิก ที่ความเค้นต่าง ๆ กัน	97
รูปที่ 4.13	การตอบสนองของวัสดุยืดหยุ่นในอุดมคติ (ก) ความเค้น (ข) ความเครียด และ (ค) ความเค้น-ความเครียด.....	99
รูปที่ 4.14	การตอบสนองของของไหลหนืดสมบูรณ์ (ก) ความเค้นเฉือน (ข) ความเครียดเฉือน และ (ค) ความเค้นเฉือน-ความเครียดเฉือน.....	100
รูปที่ 4.15	โมเดลพื้นฐานสำหรับ (ก) วัสดุยืดหยุ่น และ (ข) วัสดุหนืด	101
รูปที่ 4.16	แมกซ์เวลโมเดล	101
รูปที่ 4.17	การเปลี่ยนแปลงความเครียดที่เวลาใด ๆ เมื่อรับความเค้นของ แมกซ์เวลโมเดล (ก) ความเค้นที่เวลาใด ๆ และ (ข) ความเครียดตอบสนอง.....	103
รูปที่ 4.18	โฟกท์-เคลวินโมเดล	106
รูปที่ 4.19	การเปลี่ยนแปลงความเครียดที่เวลาใด ๆ เมื่อรับความเค้น ของโฟกท์-เคลวินโมเดล (ก) ความเค้นที่เวลาใด ๆ และ (ข) ความเครียดตอบสนอง.....	108

รูปที่ 4.20	การประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2545.....	111
รูปที่ 4.21	ไม้พื้นระเบียงจากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	112
รูปที่ 4.22	ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผลิตมาจากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	112
รูปที่ 4.23	ผลกระทบของชนิดพลาสติกและปริมาณผงไม้ย่างพาราต่อ ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	114
รูปที่ 4.24	ผลกระทบของประเภทไม้และปริมาณผงสีต่อ (ก) ค่าความเค้นดัด และ (ข) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัดของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้.....	115
รูปที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุเชิงประกอบ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและผงไม้.....	116
รูปที่ 4.26	พฤติกรรมการคืบของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ที่ผันแปร ตามระดับความเค้นต่าง ๆ.....	118
รูปที่ 4.27	พฤติกรรมการคืบของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ที่ผันแปร ตามระดับอุณหภูมิต่าง ๆ.....	119
รูปที่ 4.28	ค่า (ก) ความเค้นดัด และ (ข) มอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ของวัสดุเชิงประกอบ พอลิโพรพิลีนและผงไม้ที่มีผลกระทบมาจากการดูดซับน้ำ.....	120
รูปที่ 4.29	ค่า (ก) ความเค้นดัด และ (ข) ความเครียดดัด ของวัสดุเชิงประกอบ พอลิโพรพิลีนและผงไม้ที่มีผลกระทบมาจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติ.....	122
รูปที่ 5.1	การกระจายแรงภายในของชิ้นส่วนที่รับแรงภายนอกตามแนวแกน.....	132
รูปที่ 5.2	พฤติกรรมการยืดของชิ้นส่วนเมื่อรับแรงดึง.....	133
รูปที่ 5.3	การกระจายความเค้นของชิ้นส่วน ณ หน้าตัดต่าง ๆ ของชิ้นส่วน.....	133
รูปที่ 5.4	การยืดของชิ้นส่วนภายใต้แรงดึง.....	134
รูปที่ 5.5	ชิ้นส่วนที่มีแรงกระทำในแต่ละท่อนแตกต่างกัน.....	135
รูปที่ 5.6	ชิ้นส่วนที่มีแรงหลาย ๆ แรงกระทำในแต่ละท่อนแตกต่างกัน.....	136
รูปที่ 5.7	การยืดหดตัวที่จุดใด ๆ ของชิ้นส่วนเมื่อถูกกระทำด้วยแรงหลายแรง.....	141
รูปที่ 5.8	ลักษณะ (ก) การวิเคราะห์ปัญหาชิ้นส่วนอินดิเทอร์มินิต และ (ข) การยืดและหดตัวของชิ้นส่วนเมื่อมีแรงมากระทำ.....	142
รูปที่ 5.9	การวิบัติแบบครากของชิ้นส่วนที่ทำมาจากวัสดุเหล็ก.....	147
รูปที่ 5.10	การวิบัติแบบเหนียวของชิ้นส่วนที่ทำมาจากอะลูมิเนียม.....	148
รูปที่ 5.11	การวิบัติของชิ้นส่วนที่ทำมาจากวัสดุเชิงเปราะ.....	148

รูปที่ 5.12	ลักษณะการเสียหายจากการล้าของเพลาส่งกำลัง.....	149
รูปที่ 5.13	การคืบคดของชิ้นส่วนภายใต้ภาระภายนอกขนาดคงที่.....	149
รูปที่ 5.14	การวิบัติ (ก) แบบขึ้นประกอบในทิศทางขนานกัน และ (ข) แบบขึ้นประกอบในทิศทางตรงกันข้ามกัน	150
รูปที่ 5.15	ลักษณะการวิบัติของเสาท่อเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกรอก คอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ล่า (ก) ที่ท่อเหล็กหน้า 3 mm (ข) ที่ท่อเหล็กหน้า 4.5 mm และ (ค) ที่ท่อเหล็กหน้า 6 mm.....	150
รูปที่ 5.16	ลักษณะการวิบัติของวัสดุเปราะที่ (ก) รับแรงดึง และ (ข) รับแรงบิด.....	151
รูปที่ 5.17	การวิบัติแบบคราก โดยเกิดการเลื่อนของเฟสของเหล็กเหนียว	152
รูปที่ 5.18	เอลิเมนต์ที่ตัดออกมาจากชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบการดึง	153
รูปที่ 6.1	การบิดตัวของเพลากลมที่แสดงด้วยแนวเส้นบนพื้นผิว	162
รูปที่ 6.2	ความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้นบนผิวของเพลากลม	162
รูปที่ 6.3	หน้าตัดของเพลากลมที่เกิดความเครียดเฉือน.....	163
รูปที่ 6.4	ลักษณะการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัด (ก) เพลากลมตัน และ (ข) เพลากลมกลวง	165
รูปที่ 6.5	แรงเฉือนบนหน้าตัดของเพลา.....	165
รูปที่ 6.6	เครื่องทดสอบการบิด.....	171
รูปที่ 6.7	การวิบัติของเพลาจากวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (ก) ที่จัดเรียงมุม $\pm 45^\circ$ และ (ข) ที่จัดเรียงมุม 90° หลังรับภาระการบิด.....	171
รูปที่ 6.8	เพลานินตีเทอร์มิเนตรับภาระบิด	176
รูปที่ 6.9	เพลากลมตันและเพลาน้ำตัดสี่เหลี่ยมส่งกำลังในเครื่องกลึง	178
รูปที่ 6.10	เพลาส่งกำลัง	179
รูปที่ 6.11	พื้นที่หน้าตัดภายในเส้นประแนวกลางผนังท่อ	183
รูปที่ 6.12	การเสียรูปของท่อหกเหลี่ยมเนื่องจากการบิด.....	186
รูปที่ 6.13	ลักษณะการเสียรูปของท่อหน้าตัดรูปแบบต่าง ๆ ที่มีความหนา 1 mm.....	186
รูปที่ 6.14	ลักษณะการเสียรูปของท่อหน้าตัดรูปแบบต่าง ๆ ที่มีความหนา 2 mm.....	187
รูปที่ 6.15	ลักษณะการเสียรูปของท่อหน้าตัดรูปแบบต่าง ๆ ที่มีความหนา 3 mm.....	187
รูปที่ 6.16	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเพลาน้ำตัดสี่เหลี่ยมเมื่ออยู่ภายใต้ทอร์ค.....	188

รูปที่ 6.17	เพลาน้ำตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	189
รูปที่ 7.1	คาน.....	198
รูปที่ 7.2	คานอย่างง่าย.....	198
รูปที่ 7.3	คานยื่น.....	198
รูปที่ 7.4	คานปลายยื่น.....	199
รูปที่ 7.5	คานยึดแน่น.....	199
รูปที่ 7.6	คานต่อเนื่อง.....	199
รูปที่ 7.7	คานช่วงเดียวปลายยึดแน่นหนึ่งข้าง.....	200
รูปที่ 7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับระยะการโก่งตัวของคาน.....	200
รูปที่ 7.9	แรงกระทำเป็นจุด.....	201
รูปที่ 7.10	แรงคู่ควบหรือโมเมนต์.....	201
รูปที่ 7.11	แรงกระทำกระจาย.....	201
รูปที่ 7.12	แรงกระทำแบบผสม.....	202
รูปที่ 7.13	แรงภายในคานที่ด้านภาะภายนอก.....	202
รูปที่ 7.14	การคิดเครื่องหมายของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	204
รูปที่ 7.15	ตัวอย่างแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัดในคาน.....	204
รูปที่ 7.16	แผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัดในคาน.....	205
รูปที่ 7.17	การคิดสูตรแรงดัด.....	209
รูปที่ 7.18	การกระจายของความเค้นดัดบนหน้าตัดคาน.....	211
รูปที่ 7.19	หน้าตัดของคานที่สมมาตรรอบแกนสะเทิน.....	215
รูปที่ 7.20	คานที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน.....	215
รูปที่ 7.21	คานที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปตัว I.....	217
รูปที่ 7.22	การเกิดความเค้นเฉือนในแนวนอนของคาน.....	219
รูปที่ 7.23	คานที่รับภาระดัดในตำแหน่งต่าง ๆ.....	220
รูปที่ 7.24	ความเค้นเฉือนในแนวนอนของคานภายใต้แรงเฉือน.....	220
รูปที่ 7.25	ความเค้นเฉือนในแนวนอนและแนวขวางตรง.....	222
รูปที่ 7.26	รอยแตกร้าวและลักษณะการวิบัติของคานไม้ที่เกิดจากแรงดัด.....	223
รูปที่ 7.27	ลักษณะการวิบัติของคานประกอบพลาสติกหน้าตัด รูปร่างน้ำคู่ภายใต้แรงดัด.....	223
รูปที่ 7.28	ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	224

รูปที่ 7.29	ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานหน้าตัดรูปวงกลมตัน	225
รูปที่ 7.30	ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานหน้าตัดรูปตัวไอ	226
รูปที่ 8.1	คานภายใต้ภาระผสม	238
รูปที่ 8.2	คานที่เกิด (ก) ความเค้นในแนวแกน (ข) ความเค้นดัด และ (ค) ความเค้นผสมภายใต้ภาระในแนวแกนและภาระดัด	238
รูปที่ 8.3	ภาระกระทำเยื้องศูนย์กลางไม่อยู่บนแกนสมมาตรของชิ้นส่วน	239
รูปที่ 8.4	ผลของ (ก) แรง P (ข) แรงคู่ควบ M_y และ (ค) แรงคู่ควบ M_x กระทำบนหน้าตัดของชิ้นส่วน	240
รูปที่ 8.5	ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน	243
รูปที่ 8.6	ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนระนาบของวัสดุ	244
รูปที่ 8.7	การแปลงความเค้นจากระนาบ $x-y$ เป็น $x'-y'$	244
รูปที่ 8.8	การแปลงความเค้นระนาบ	245
รูปที่ 8.9	ระนาบความเค้นตั้งฉากสูงสุดและต่ำสุด	247
รูปที่ 8.10	ระนาบความเค้นเฉือนสูงสุด	248
รูปที่ 8.11	การกำหนดเครื่องหมาย τ_{xy} ในการเขียนวงกลมของมอร์ (ก) τ_{xy} บนระนาบที่ตั้งฉากกับแกน x มีเครื่องหมายเป็นบวก และ (ข) τ_{xy} บนระนาบที่ตั้งฉากกับแกน x มีเครื่องหมายเป็นลบ	253
รูปที่ 8.12	การสร้างวงกลมของมอร์จากค่า σ_x , σ_y และ τ_{xy} (ก) เอลิเมนต์ความเค้น และ (ข) วงกลมของมอร์จากข้อมูลในรูป (ก)	254
รูปที่ 8.13	ถังบรรจุก๊าซผนังบาง (ก) ทรงกลม และ (ข) ทรงกระบอก	258
รูปที่ 8.14	ความเค้นในภาชนะผนังบางทรงกระบอก	258
รูปที่ 8.15	การหาความเค้นในภาชนะผนังบางรูปทรงกระบอก	259
รูปที่ 8.16	การหาความเค้นในภาชนะผนังบางรูปทรงกลม	260
รูปที่ 8.17	การวัดความเครียดที่เกิดขึ้นในผนังของกระป๋องน้ำอัดลมด้วยสเตรนเกจ	264
รูปที่ 8.18	ลักษณะการรั่วไหลและการล้าที่พื้นผิวของภาชนะผนังบางรับแรงดัน 15 MPa โดยมีร่องบากในผนัง (ก) 12 mm และ (ข) 24 mm	266
รูปที่ 9.1	หมุดย้ำและสลักเกลียว	274
รูปที่ 9.2	การต่อยึดชิ้นส่วนด้วย (ก) หมุดย้ำ และ (ข) สลักเกลียว	274
รูปที่ 9.3	รอยต่อแบบต่อทาบ	274
รูปที่ 9.4	รอยต่อแบบต่อชน	275

รูปที่ 9.5	รอยต่อด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียว.....	276
รูปที่ 9.6	การขาดด้วยแรงเฉือนในหมุดย้ำหรือสลักเกลียว.....	277
รูปที่ 9.7	การฉีกขาดด้วยแรงดึงในแผ่นขึ้นส่วน.....	277
รูปที่ 9.8	การหดตัวด้วยแรงเบียดอัดในแผ่นขึ้นส่วน.....	278
รูปที่ 9.9	การฉีกขาดของแผ่นขึ้นส่วนใกล้ขอบ.....	278
รูปที่ 9.10	รอยต่อ (ก) รับแรงกระทำเยื้องศูนย์ และ (ข) รับแรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางและโมเมนต์บิด.....	285
รูปที่ 9.11	การวิเคราะห์แรงกระทำเยื้องศูนย์ในรอยต่อด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียว (ก) ตัวยึดรับแรง P (ข) ตัวยึดรับแรงบิด $T = Pe$ และ (ค) แรงลัพท์ที่ตัวยึด.....	288
รูปที่ 9.12	รอยเชื่อมต่อชน (ก) แบบฉาก (ข) แบบตัววีเดี่ยว และ (ค) แบบตัววีคู่.....	290
รูปที่ 9.13	รอยเชื่อมต่อทาบ (ก) แบบเชื่อมตามแนวยาว และ (ข) แบบเชื่อมตามแนวขวาง.....	290
รูปที่ 9.14	รอยเชื่อมแบบต่อชน.....	291
รูปที่ 9.15	รอยเชื่อมแบบต่อทาบ.....	291
รูปที่ 9.16	รอยเชื่อมที่รับแรงกระทำเยื้องศูนย์.....	295
รูปที่ 9.17	เครื่องเชื่อมด้วยแรงเสียดทานที่ประยุกต์มาจากเครื่องกลึงยื่นศูนย์.....	298
รูปที่ 9.18	ลักษณะขึ้นส่วนในเครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (ก) ก่อนการเชื่อม และ (ข) หลังการเชื่อม.....	299
รูปที่ 9.19	กระบวนการเชื่อมเสียดทานในแนวระนาบโดยให้แรงดันอัดด้านเดียว (ก) จังหวะหมุนเริ่มการเชื่อม (ข) จังหวะหมุนเพื่อเสียดสี และ (ค) จังหวะอัด.....	300
รูปที่ 9.20	รอยเชื่อมหลังการเชื่อมเสียดทานของวัสดุ (ก) AISI 1045 (ข) SUS 304 (ค) Al 356 และ (ง) AISI 1015.....	301
รูปที่ 9.21	รอยเชื่อมหลังการเชื่อมเสียดทานของวัสดุต่างเกรด (ก) ระหว่าง HSS และ AISI 345 และ (ข) ระหว่าง AISI 1040 และ AISI 4140.....	302
รูปที่ 9.22	ชิ้นงานทดสอบการดึงระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 356 กับเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน.....	302
รูปที่ 9.23	ค่าความเค้นดึงของวัสดุต่างชนิดระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM 7075 กับ SSM 356 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน.....	305

รูปที่ 9.24	ค่าความเค้นดึงและค่าการยืดตัวของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง 7075 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน.....	306
รูปที่ 9.25	ประสิทธิภาพของรอยเชื่อมและค่าความเค้นดึงที่จุดครากของ อะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง 7075 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทาน.....	307

บทที่ 1

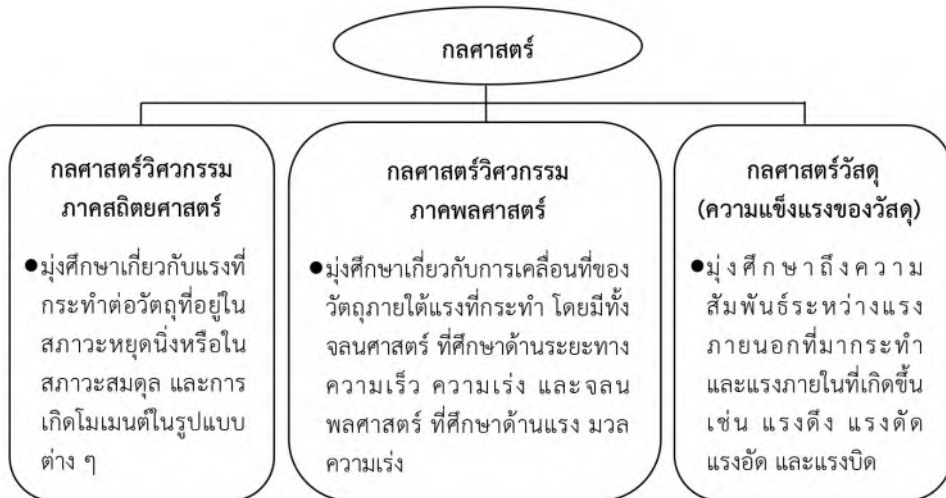
แนะนำกลศาสตร์วัสดุ (Introduction to Mechanics of Materials)

กลศาสตร์วัสดุ เป็นการวิเคราะห์ชิ้นส่วนเครื่องจักรหรือโครงสร้างที่อยู่ภายใต้การรับแรง โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกกับแรงภายในที่วัสดุต้าน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการรับแรง ซึ่งจะมีความแตกต่างกับกลศาสตร์วิศวกรรมภาคสถิตยศาสตร์ที่ได้เรียนผ่านมา ที่มุ่งศึกษาเกี่ยวกับแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในสภาวะหยุดนิ่งหรือในสภาวะสมดุล และการเกิดโมเมนต์ในรูปแบบต่าง ๆ โดยไม่คำนึงถึงแรงต้านภายในของวัสดุ ทั้งนี้ตัวแปรที่สำคัญต่อความสามารถการรับแรงหรือความสามารถต้านภายในของวัตถุ ได้แก่ สมบัติของวัสดุ ขนาดของวัสดุ ขนาดของแรงที่มากกระทำ รูปแบบของแรง และทิศทางของแรง เป็นต้น ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับการหาแรงภายนอกที่มากกระทำต่อวัตถุในทิศทางต่าง ๆ และแรงภายในวัตถุที่เป็นผลมาจากแรงภายนอกกระทำจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในเนื้อหาของบทนี้

1.1 หลักพื้นฐานกลศาสตร์วัสดุ

กลศาสตร์วัสดุ (mechanics of materials) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาถึงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกที่มากกระทำ และแรงภายในที่เกิดขึ้น เช่น แรงดึง แรงอัด แรงคด และแรงบิด เป็นต้น และความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่มากกระทำกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ อย่างไรก็ตามวิชานี้อาจมีชื่อเรียกที่หลากหลาย เช่น ความแข็งแรงของวัสดุ (strength of materials) กลศาสตร์โครงสร้าง (structural mechanics) และกลศาสตร์ของแข็ง (solid mechanics) ถึงแม้ชื่อเรียกที่หลากหลาย และมีรายละเอียดบางส่วนที่แตกต่างกันบ้าง ทว่าความหมายพื้นฐานยังคงเหมือนเดิม ดังนั้นควรจะเน้นเนื้อหาเป็นหลัก โดยไม่ควรยึดติดกับชื่อวิชา นอกจากนี้กลศาสตร์วัสดุเป็นศาสตร์ที่มีความแตกต่างกับกลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์ (statics) ที่มุ่งศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง และการเกิดโมเมนต์ในรูปแบบต่าง ๆ

และแตกต่างกับภาคพลศาสตร์ (dynamics) ที่มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงที่กระทำ โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 1.1

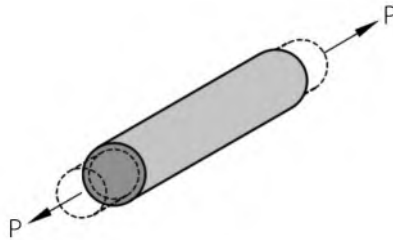


รูปที่ 1.1 ความแตกต่างของศาสตร์ด้านกลศาสตร์
ที่มา : ดัดแปลง จาก ธรรม์ณชาติ, 2560

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักร เครื่องบิน รถยนต์ สะพาน อาคาร หรือโครงสร้างใด ๆ ความรู้ความเข้าใจในวิชากลศาสตร์วัสดุเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อต้องการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุแต่ละชนิดว่า สามารถรับแรงที่มากระทำได้มากหรือน้อยเพียงใด และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปอย่างไร และเมื่อมีการประยุกต์ใช้งานจริง หากชิ้นส่วนหรือโครงสร้างเพียงบางส่วนชำรุดเสียหาย อาจส่งผลให้แรงภายในชิ้นส่วนนั้น ๆ มากเกินกว่าที่กำลังของวัสดุจะรับได้ หรือชิ้นส่วนมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปอย่างถาวร อย่างไรก็ตามก็ตามกำลังหรือความแข็งแรงของวัสดุในชิ้นส่วนต่าง ๆ นั้น ยังขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปร่าง และสมบัติทางกายภาพบางอย่างของวัสดุ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ และจากผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปสู่การใช้งานจริง นอกจากนี้ตามหลักสถิตยศาสตร์พิจารณาว่า ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่รับแรงนั้นเป็นวัตถุที่แข็งแรงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แต่ในความเป็นจริงวัสดุทุกชนิดนั้น มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีแรงภายนอกที่มากระทำที่มากพอ ดังนั้นวิชากลศาสตร์วัสดุจึงเปรียบเสมือนเป็นสถิตยศาสตร์ของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือยืดหยุ่น (สิริศักดิ์, 2554)

ในการวิเคราะห์แรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง ทิศทางและรูปแบบของแรงที่มากระทำนั้น เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการนำมาคำนวณและวิเคราะห์ความสามารถรับแรงของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในวิชากลศาสตร์วัสดุสามารถจำแนกพฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนภายใต้การรับแรงที่อยู่กับที่ได้ 5 ลักษณะใหญ่ ๆ ดังนี้

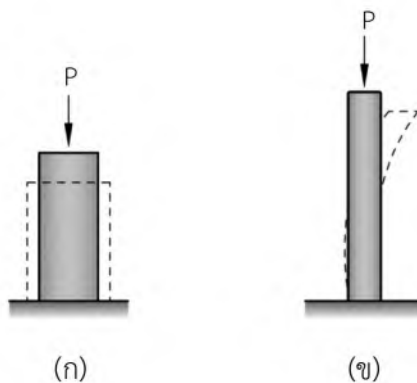
1) แรงดึง (tension) เป็นการศึกษาถึงแรงที่เกิดขึ้นจากการดึงชิ้นส่วนในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูปของการยืด (elongation) ออกไปตามแนวแรง ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงดึง

ที่มา : ผู้เรียบเรียง

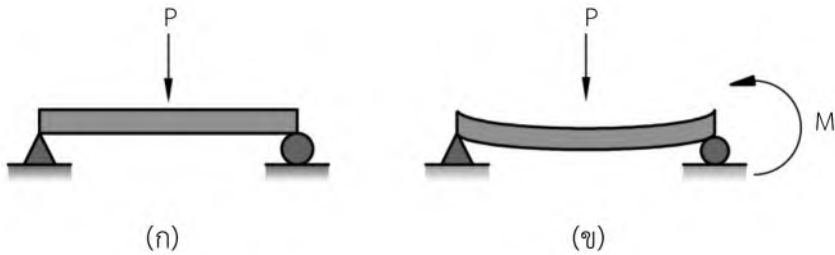
2) แรงอัด (compression) เป็นการศึกษาถึงแรงที่เกิดขึ้นจากการอัดชิ้นส่วนด้วยแรงที่มีขนาดเท่ากัน แต่ทิศตรงข้ามกับการทดสอบดึง ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูปของการหดตัวและโก่งเดาะ (buckling) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ในการวัดแรงอัดนิยมทดสอบในวัสดุที่มีสมบัติเปราะ เช่น เหล็กหล่อ และคอนกรีต เป็นต้น



รูปที่ 1.3 ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงอัด (ก) เกิดการหดตัว และ (ข) เกิดการโก่งเดาะ

ที่มา : ผู้เรียบเรียง

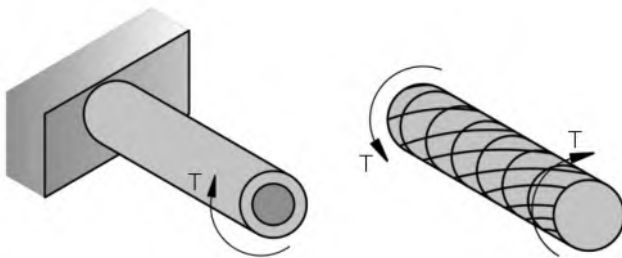
3) แรงดัด (bending) เป็นการศึกษาถึงแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนที่มีจุดรองรับที่ปลายทั้ง 2 ด้าน เช่น แรงกระทำบนคาน ส่งผลให้ชิ้นส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูปของการโก่งตัว (deflection) และเกิดโมเมนต์ดัด ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ชิ้นส่วน (ก) ก่อนรับแรงดัด และ (ข) หลังรับแรงดัด

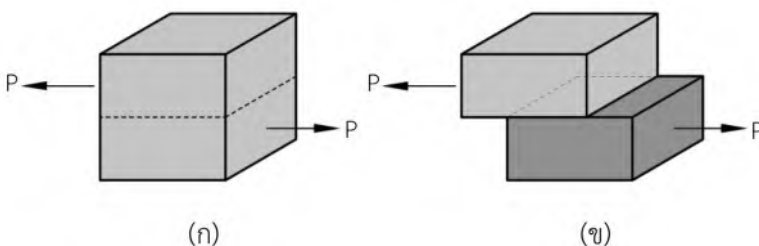
ที่มา : ผู้เรียบเรียง

4) แรงบิด (torsion) เป็นการศึกษาถึงแรงที่กระทำให้ชิ้นส่วนเกิดการหมุนรอบตัวในแนวแกน ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการบิด และเกิดความเค้นเฉือน (shear stress) พร้อมกันนั้น วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เรียกว่า มุมบิด (twist) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งชิ้นส่วนจะเกิดการบิดมากหรือบิดน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแรงบิดที่กระทำและความยาวของชิ้นส่วน



รูปที่ 1.5 ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้การรับแรงบิดและเกิดมุมบิด

ที่มา : ผู้เรียบเรียง

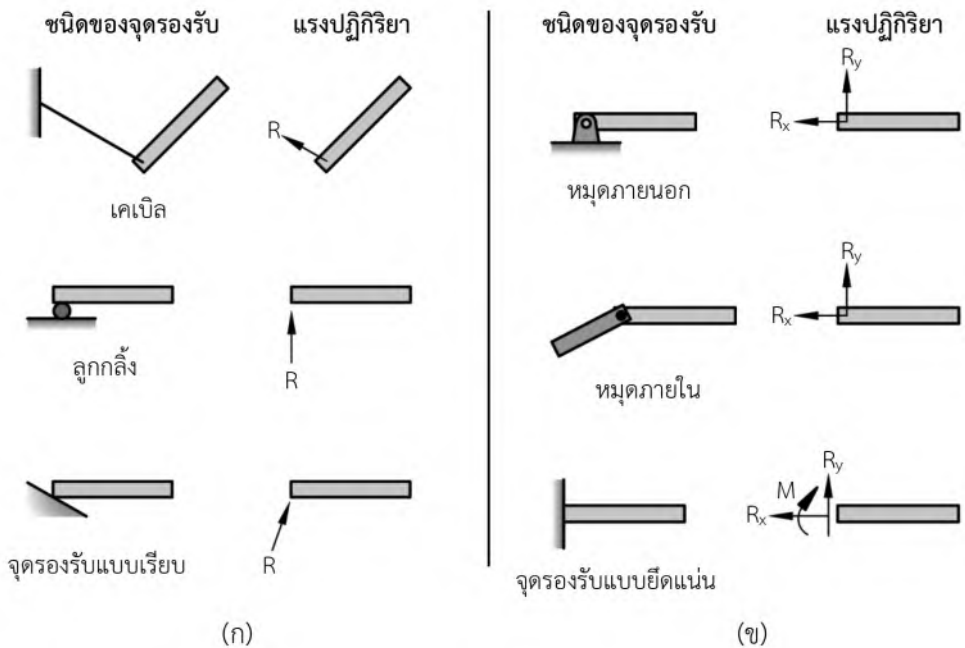


รูปที่ 1.6 ชิ้นส่วน (ก) ก่อนรับแรงเฉือน และ (ข) หลังรับแรงเฉือน

ที่มา : ผู้เรียบเรียง

5) แรงเฉือน (shear) เป็นการศึกษาถึงแรงที่พยายามทำให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างถูกฉีกขาดขนานไปตามแนวแรงที่กระทำ ซึ่งแรงจะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1.6

นอกจากนี้แรงภายนอกที่กระทำกับชิ้นส่วนยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แรงกระทำเป็นจุด ซึ่งเป็นแรงที่กระทำอยู่บนพื้นผิวของชิ้นส่วน โดยมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวทั้งหมด เช่น คานเหล็กที่แขวนด้วยรอก และแรงแผ่กระจาย ซึ่งเป็นแรงที่กระทำต่อพื้นผิวที่มีลักษณะแคบและยาว เช่น น้ำหนักของผนังอิฐที่กระทำต่อคาน



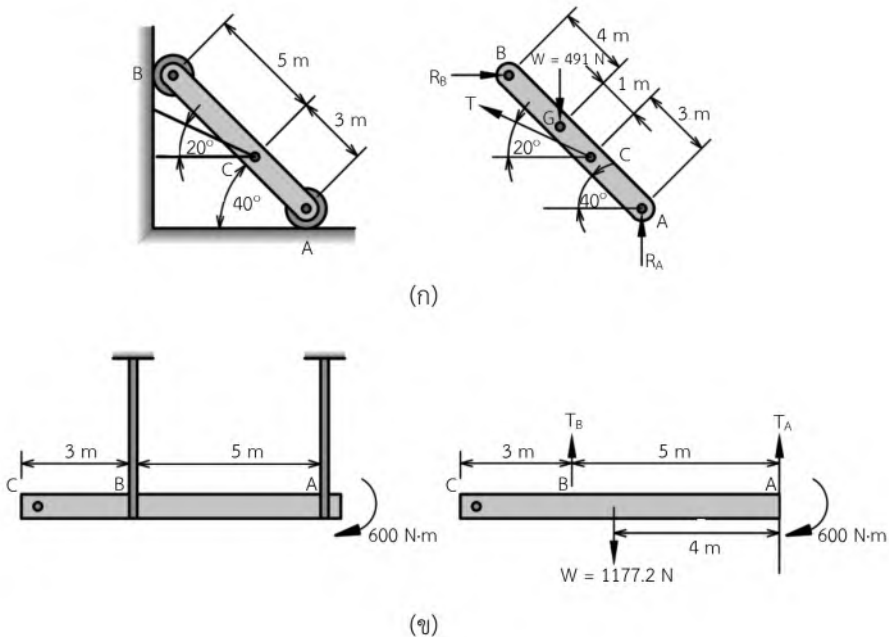
รูปที่ 1.7 แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับแบบต่าง ๆ
ที่มา : ดัดแปลงจาก บุรฉัตร และวทีชภพ, 2545

1.2 แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ

เมื่อชิ้นส่วนหรือโครงสร้างรับน้ำหนัก หรืออยู่ในสภาวะการรับแรง บริเวณจุดรองรับหรือจุดยึดจะเกิดแรงปฏิกิริยาขึ้น เพื่อให้ชิ้นส่วนหรือโครงสร้างอยู่ในสภาวะสมดุลได้ในขณะเดียวกันตามจุดต่อระหว่างส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง จะมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นแตกต่างกันตามลักษณะของจุดรองรับหรือจุดยึดที่ประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นการเข้าใจลักษณะหรือรูปแบบต่าง ๆ ของจุดรองรับหรือจุดยึด ตลอดจนสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำ

มาใช้หาทิศทางและขนาดของแรงที่เกิดขึ้นตามจุดยึดต่าง ๆ ซึ่งสามารถแสดงชนิดของจุดรองรับหรือจุดยึดต่อแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยการรองรับแบบลูกกลิ้งจะบังคับไม่ให้ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ขึ้นลง แต่ชิ้นส่วนสามารถเคลื่อนที่ในแนวอนได้อย่างอิสระ ทำให้แรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นเพียงในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ก) ในขณะที่การรองรับแบบหมุด ชิ้นส่วนไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลง และไม่สามารถเคลื่อนไปในทิศทางซ้ายและขวาได้ ดังนั้นแรงปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นทั้งในแนวตั้งและแนวอน ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ข)

แผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram; F.B.D.) คือ การวิเคราะห์วัตถุให้อิสระออกจากสิ่งรอบข้าง และกำหนดแรงที่มากกระทำและแรงต้าน (แรงปฏิกิริยา) ลงบนวัตถุนั้นทั้งหมด โดยแรงนี้อาจจะเป็นแรงภายนอกที่มากกระทำต่อวัตถุโดยตรง หรืออาจเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากสิ่งรอบข้างกระทำกับวัตถุก็ได้ การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางสถิตยศาสตร์ เพราะจะทำให้สามารถมองเห็นแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุ เพื่อใช้คำนวณในสมการสมดุล แต่หากมีการใส่แรงที่มากกระทำกับวัตถุเกินความจำเป็น จะทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาเพื่อหาแรงที่ไม่ทราบค่าได้ ตัวอย่างการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 แผนภาพวัตถุอิสระของ (ก) บาร์ และ (ข) คาน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Pytel and Kiusalaas, 2010

1.3 สมดุลของวัตถุที่เปลี่ยนรูปได้

การสมดุลของวัตถุเกิดขึ้นเมื่อมีแรงหลาย ๆ แรงกระทำต่อวัตถุพร้อมกัน และไม่ทำให้วัตถุแข็งเกร็งเกิดการเคลื่อนที่หรือเกิดการหมุน นั่นหมายความว่า วัตถุอยู่นิ่งภายใต้การกระทำของแรง ดังนั้นจากหลักสถิตยศาสตร์ วัตถุจะอยู่ในสภาวะสมดุลได้ก็ต่อเมื่อภาระลัพท์ที่กระทำกับวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Sigma F = 0$$

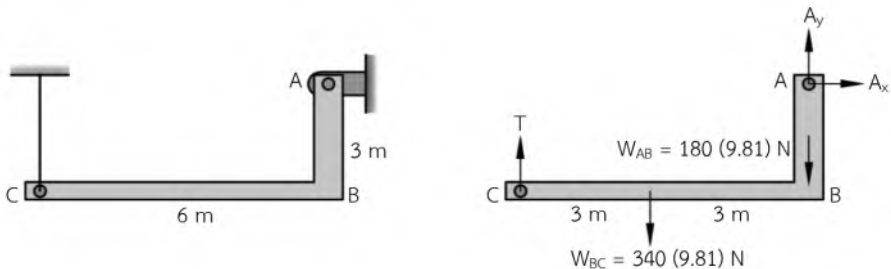
หรือพิจารณาแรงในแกน x, y และ z ได้ว่า $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma F_z = 0$ (1.1)

และ $\Sigma M = 0$

หรือพิจารณาโมเมนต์ในแกน x, y และ z ได้ว่า $\Sigma M_x = 0, \Sigma M_y = 0, \Sigma M_z = 0$ (1.2)

ในงานทางวิศวกรรมหลาย ๆ ปัญหา วัตถุแข็งเกร็งมักรับแรง 2 มิติ ที่อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.9 โดยมักจะเป็นแรงที่อยู่ในระนาบ x-y ดังนั้นเงื่อนไขของสภาวะสมดุล คือ

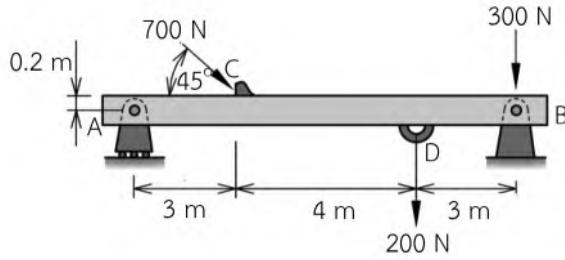
$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M = 0$$
 (1.3)



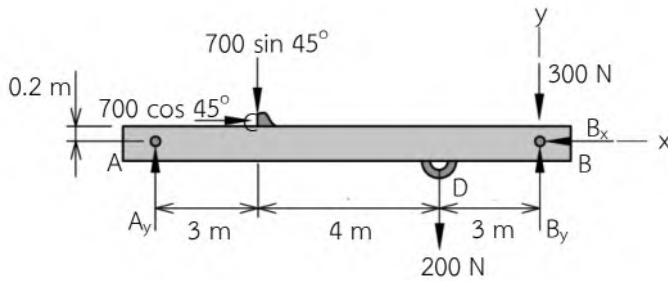
รูปที่ 1.9 คานรับแรงในระนาบเดียว

ที่มา : ผู้เรียบเรียง

ตัวอย่างที่ 1.1 จงเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ และคำนวณหาแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับคาน ดังรูป โดยคานที่จุด A ถูกรองรับด้วยลูกกลิ้ง และคานที่จุด B ถูกรองรับด้วยหมุด ซึ่งในการคำนวณไม่ต้องคำนึงน้ำหนักของคาน



วิธีทำ การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของคานสามารถเขียนได้โดยการถอดจุดรองรับทั้ง 2 ออก นั่นคือ ลูกกลิ้ง และหมุด แล้วใส่แรงปฏิกิริยาเข้าไปแทน ดังแสดงในแผนภาพวัตถุอิสระของคานในรูปด้านล่าง เนื่องจากจุดรองรับที่จุด A เป็นลูกกลิ้ง ดังนั้นแรงปฏิกิริยาที่ลูกกลิ้งกระทำกับคานที่จุด A มีแค่แรงในแนวแกนตั้ง (แกน y) ในขณะที่จุดรองรับที่จุด B เป็นหมุด ทำให้แรงปฏิกิริยาที่หมุดกระทำกับคานที่จุด B มีทั้งแรงในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน (แกน x) นอกจากนี้ที่จุด C มีแรงมากระทำกับคาน 700 N โดยแนวแรงนั้นทำมุม 45° กับแกน x ทำให้ที่จุด C นี้ มีแรงเกิดขึ้นทั้งในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอน



จากสมการสมดุล (equations of equilibrium) แรงรวมที่เกิดขึ้นในแนวแกนนอน (x) คือ

$$\pm \rightarrow \sum F_x = 0; \quad (700 \cos 45^\circ) - B_x = 0$$

$$B_x = 495 \text{ N}$$

ตอบ

หาแรง A_y โดยกำหนดให้จุด B เป็นจุดหมุน

$$\sum M_B = 0; \quad (200 \times 3) + (700 \sin 45^\circ) (7) - (700 \cos 45^\circ) (0.2) - A_y (10) = 0$$

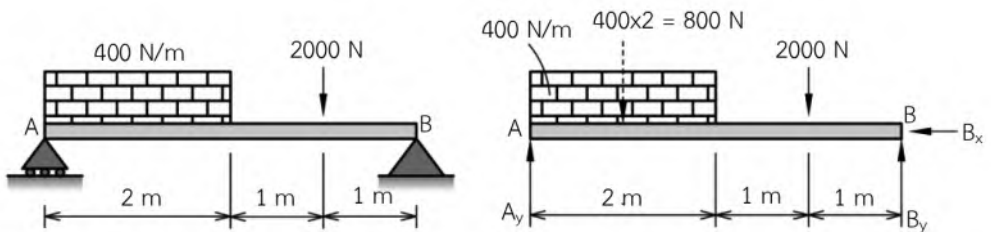
$$A_y = 397 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

แรงรวมที่เกิดขึ้นในแนวแกนนอน (y) คือ

$$+\uparrow \sum F_y = 0; \quad 397 - (700 \sin 45^\circ) - 200 - 300 + B_y = 0$$

$$B_y = 598 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 จงคำนวณหาแรงปฏิกิริยาของคานช่วงเดียวที่มีความยาว 4 m โดยมีน้ำหนักกระทำเป็นจุด และรับน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอ ดังรูป



วิธีทำ

$$\sum M_B = 0; \quad A_y (4) - (400 \times 2 \times 3) - (2000 \times 1) = 0$$

$$A_y = 1100 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

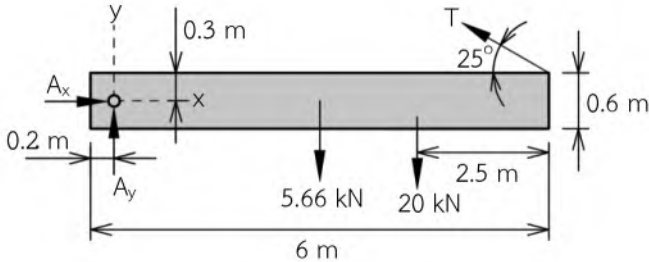
$$+\uparrow \sum F_y = 0; \quad A_y + B_y - (400 \times 2) - (2000) = 0$$

$$B_y = 1700 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0;$$

$$B_x = 0 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1.3 จากแผนภาพวัตถุอิสระ ดังรูป จงหาแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับชิ้นส่วนโครงสร้าง



วิธีทำ แผนภาพวัตถุอิสระนี้มีแรงที่ไม่รู้ค่า 3 แรง คือ แรงดึง T และแรงปฏิกิริยาในแนวแกน A_x และ A_y ดังนั้นจำเป็นต้องใช้สมการสมดุล 3 สมการ จึงจะคำนวณแรงที่ไม่รู้ค่าได้ครบ และผลรวมของโมเมนต์รอบจุด A สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sum M_A = 0;$$

$$(T \cos 25^\circ) (0.3) + (T \sin 25^\circ) (6 - 0.2) - (20) (6 - 2.5 - 0.2) - (5.66) (3 - 0.2) = 0$$

$$T = 30.07 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

$$\rightarrow \sum F_x = 0; \quad (A_x) - (30.07 \cos 25^\circ) = 0$$

$$A_x = 27.25 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

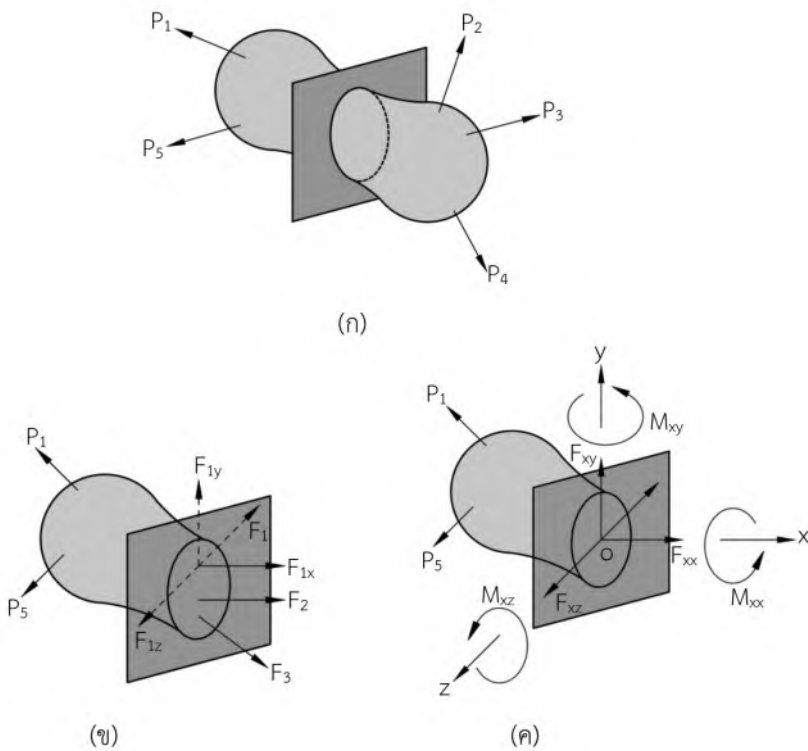
$$\uparrow \sum F_y = 0; \quad (A_y) + (30.07 \sin 25^\circ) - 5.66 - 20 = 0$$

$$A_y = 12.95 \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

1.4 แรงภายในของวัตถุภายใต้ภาระภายนอก

เมื่อวัตถุถูกกระทำด้วยแรงภายนอกหรือโมเมนต์ของแรงคู่ควบ และอยู่ภายใต้สภาวะสมดุล การประยุกต์ใช้หลักสถิตยศาสตร์ในการวิเคราะห์หาแรงและโมเมนต์ลัพธ์ภายในวัตถุเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งแรงภายนอกหลาย ๆ แรงที่มากระทำต่อวัตถุจะมาจากทิศทางต่าง ๆ ดังแสดง

ในรูปที่ 1.10 (ก) โดยวัตถุนั้นอยู่ในสภาวะสมดุล คือ ผลรวมของแรงและโมเมนต์มีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อต้องการหาแรงภายในทำได้โดยนำระนาบตัดฉากกับแนวแกนตามแนวยาวแล้วตัดวัตถุที่หน้าตัดที่สนใจให้แยกชิ้นส่วนออกเป็นแผนภาพวัตถุสองรูป ดังรูปที่ 1.10 (ข) จะเห็นได้ว่า มีแรงกระทำที่ผิวของวัตถุในขนาดและทิศทางต่าง ๆ ในขณะที่เดียวกันมีแรงภายในเกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่วทั้งหน้าตัดที่ถูกตัดออก ซึ่งแรงภายในที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ นี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่มากกระทำ นอกจากนี้เมื่อแตกแรงภายในให้อยู่ในทิศทางของเวกเตอร์ย่อยในแนวแกน x-y-z ดังรูปที่ 1.10 (ข) จะได้แรงประกอบดังเช่น F_{1x} ในแนวแกน x ซึ่งตั้งฉากกับหน้าตัดของวัตถุที่ถูกตัด และแรง F_{1y} และ F_{1z} ในแนวแกน y และ z ตามลำดับ และเมื่อรวมแรงประกอบทั้งหมดในระบบให้มาอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของหน้าตัดตามทิศทางของเวกเตอร์ย่อยจะได้ว่า ที่รอยตัดมีแรงลัพธ์เกิดขึ้น 3 แรง คือ F_{xx} , F_{xy} , F_{xz} และเกิดโมเมนต์ 3 โมเมนต์ คือ M_{xx} , M_{xy} , M_{xz} โดยทั้งหมดนี้เกิดขึ้นจากการกระทำของแรงภายนอก ดังรูปที่ 1.10 (ค)



รูปที่ 1.10 แรงภายในของวัตถุภายใต้การกระทำภายนอก
 ที่มา : ดัดแปลงจาก วินิต และคณะ, 2548