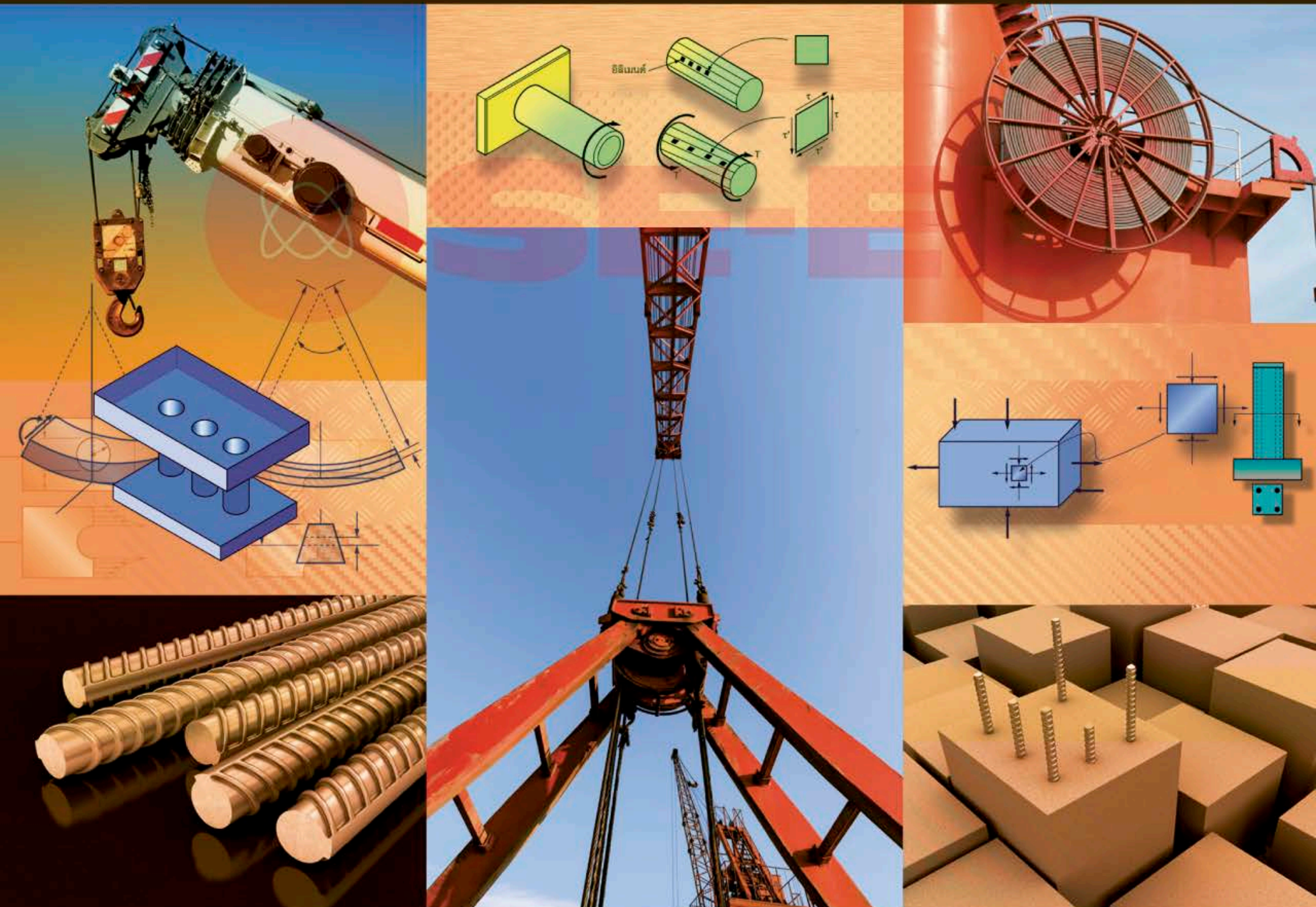


เหมาะสำหรับนักศึกษาในระดับ
ปริญญาตรี และ ปวส.

ความแข็งแรง ของวัสดุ



พศ. ธรรม์ณชาติ วันต่าง

ความแข็งแรง ของวัสดุ



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

ค้นหาหนังสือที่ต้องการ (รวม e-book และสินค้าที่น่าสนใจ) ได้เร็ว ทันใจ

- บน PC และ Notebook ที่ **www.se-ed.com**
- สำหรับ SmartPhone และ Tablet ทุกยี่ห้อ ที่ **http://m.se-ed.com** (ผ่าน browser เข้าอินเทอร์เน็ตแล้วทำ Bookmark บนจอ Home จะใช้งานได้เหมือน App ทุกประการ) หรือติดตั้ง **SE-ED Application** ได้จาก **Play Store** บน **Android** หรือจาก **App Store** บน **iOS**

ความแข็งแรงของวัสดุ

โดย ผศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทยตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ © พ.ศ. 2560 โดย ผศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง
ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง.

ความแข็งแรงของวัสดุ. -- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2560.

1. กำลังวัสดุ.

I. ชื่อเรื่อง.

620.112

ISBN (e-book) : 978-616-08-2881-4

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา

เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260 โทรศัพท์ 0-2739-8000

[หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com]



SE-ED



คำนำ

หนังสือ **ความแข็งแรงของวัสดุ** เล่มนี้ ผู้เขียนได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นหนังสือหลักในการเรียนการสอนรายวิชา ความแข็งแรงของวัสดุ ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และรายวิชา กลศาสตร์ของวัสดุ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต และนอกจากทั้ง 2 รายวิชานี้แล้วเนื้อหาภายในเล่มยังครอบคลุมรายวิชา ความแข็งแรงของวัสดุ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) หลักสูตรปรับปรุงใหม่ พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรมด้วย และยังเหมาะสมสำหรับผู้สนใจเพิ่มพูนความรู้ทุกท่าน โดยเนื้อหาในเล่มนี้จะมุ่งเน้นให้ผู้อ่านเกิดความรู้และมีทักษะการคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วน เครื่องจักรกลและชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ตลอดจนการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้งานจริงได้ ซึ่งเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 9 บท ได้แก่ (1) ความเค้น (2) ความเครียด (3) กฎของฮุก ทฤษฎีพลังงานความเครียด และความเค้นเฉือน (4) ความเค้นความเครียดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและความเค้นในวัสดุที่ทำการต่อกัน (5) การบิดของเพลลาและความเค้นภายในผนังบาง (6) แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดบนคาน (7) คานและแรงกระทำบนคาน (8) การรวมความเค้น การออกแบบคานและเพลลา และ (9) พฤติกรรมของวัสดุ ในการอธิบายเนื้อหานี้จะใช้คำศัพท์ที่ง่าย มีรูปประกอบ มีการยกตัวอย่างการคำนวณ ชิ้นงานต่างๆ มีเฉลยแบบฝึกหัดทบทวน พร้อมแทรกงานวิจัยและเนื้อหาความรู้ใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจและมีทักษะด้านการคำนวณได้

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะให้ประโยชน์สำหรับอาจารย์ผู้สอน นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจได้ตามสมควร หากท่านที่นำหนังสือเล่มนี้ไปใช้มีข้อเสนอแนะ ผู้เขียนยินดีน้อมรับฟังและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง



OSE-ED



สารบัญ

บทที่ 1 ความเค้น	9
1.1 การวิเคราะห์ลักษณะแรงกระทำภายนอก	9
1.2 ความเค้นแบบปกติ	12
1.3 ความเค้นเฉือน	19
1.4 การรวมแรงในแนวแกน	24
1.5 ความเค้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง	26
1.6 ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)	29
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 1	33
บทที่ 2 ความเครียด	39
2.1 ความเครียด	39
2.2 การทดสอบแรงดึง	41
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	42
2.4 ยังโมดูลัสของวัสดุ	47
2.5 ความเครียดที่เกิดในโครงสร้างที่ต่อยึดเข้าด้วยกัน	53
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 2	56
บทที่ 3 กฎของฮุก กฎปฏิพลังงานความเครียด และความเค้นเข้มข้น.....	63
3.1 กฎของฮุก	63
3.2 แรงกระทำหลายทิศทาง	72

3.3 แรงกระทำแบบเฉือน	78
3.4 ปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีสถิตยศาสตร์	81
3.5 ทฤษฎีพลังงานความเครียด	84
3.6 ความเค้นเข้มข้น	87
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 3	92
บทที่ 4 ความเค้นความเครียดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและความเค้นในวัสดุที่ทำการต่อกัน	97
4.1 ความเค้น-ความเครียดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	97
4.2 ปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้โดยหลักสถิตยศาสตร์	103
4.3 ความเค้นในวัสดุซึ่งต่อกันโดยใช้หมุดย้ำหรือโบลต์	108
4.4 ความเค้นในวัสดุซึ่งต่อกันโดยการเชื่อมโลหะ	113
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 4	119
บทที่ 5 การบิดของเพลลาและความเค้นภายในผนังบาง	125
5.1 แรงบิด	125
5.2 แผนภูมิโมเมนต์บิด	133
5.3 หลักการอินดีเทอรัมิเนต	136
5.4 ความเค้นภายในผนังบาง	138
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 5	148
บทที่ 6 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดบนคาน.....	153
6.1 ทฤษฎีของคาน	154
6.2 แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด	155
6.3 โมเมนต์ดัดบนคาน	168
6.4 ความเค้นและความเครียดบนคานเมื่อรับโมเมนต์ดัด	170
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 6	177
บทที่ 7 การโก่งตัวของคานและความเค้นเฉือนในคาน	181
7.1 การโก่งตัวของคาน	182
7.2 ความเค้นเฉือนในคาน	191
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 7	200

บทที่ 8 การรวมความเค้น การออกแบบคานและเพลา.....	205
8.1 การรวมความเค้น.....	205
8.2 การออกแบบคานและเพลา.....	212
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 8.....	226
บทที่ 9 พฤติกรรมของวัสดุ.....	231
9.1 พฤติกรรมของวัสดุ.....	231
9.2 การแตกหักของวัสดุ.....	239
9.3 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานแบบไม่ทำลาย.....	243
แบบฝึกหัดทบทวน บทที่ 9.....	246
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติเชิงกลของโลหะ.....	247
ภาคผนวก ข. สัญลักษณ์และหน่วยในระบบสากล.....	251
บรรณานุกรม.....	259





SE-ED



1

ความเค้น

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะที่มีแรงมากกระทำตัวแปรสำคัญที่จะทำให้วัตถุสามารถรับแรงอยู่ได้ หรือว่าเกิดการพังเสียหาย สามารถวิเคราะห์ตัวแปรเบื้องต้น ได้แก่ ขนาดของแรงกระทำ ทิศทางของแรง รูปแบบของแรง ขนาดของวัตถุ และคุณสมบัติของวัตถุ เป็นต้น และเมื่อวัตถุรับแรงกระทำ ไม่ว่ารูปแบบใดๆ ก็ตามจะเกิดความเค้น (Stress) ขึ้นภายในวัตถุ ความเค้นที่เกิดขึ้นมีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงกระทำ เช่น ความเค้นดึง ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน เป็นต้น ดังนั้นความเค้นจึงเป็นค่าที่ใช้บอกว่าวัตถุชิ้นนั้นๆ สามารถรับแรงได้มากน้อยเพียงไร สามารถคงรูปได้เหมือนเดิมหรือไม่ หรือเมื่อวัตถุชิ้นๆ รับความเค้นเกินค่ากำหนดของวัตถุก็จะเกิดการแตกหักพังเสียหายได้

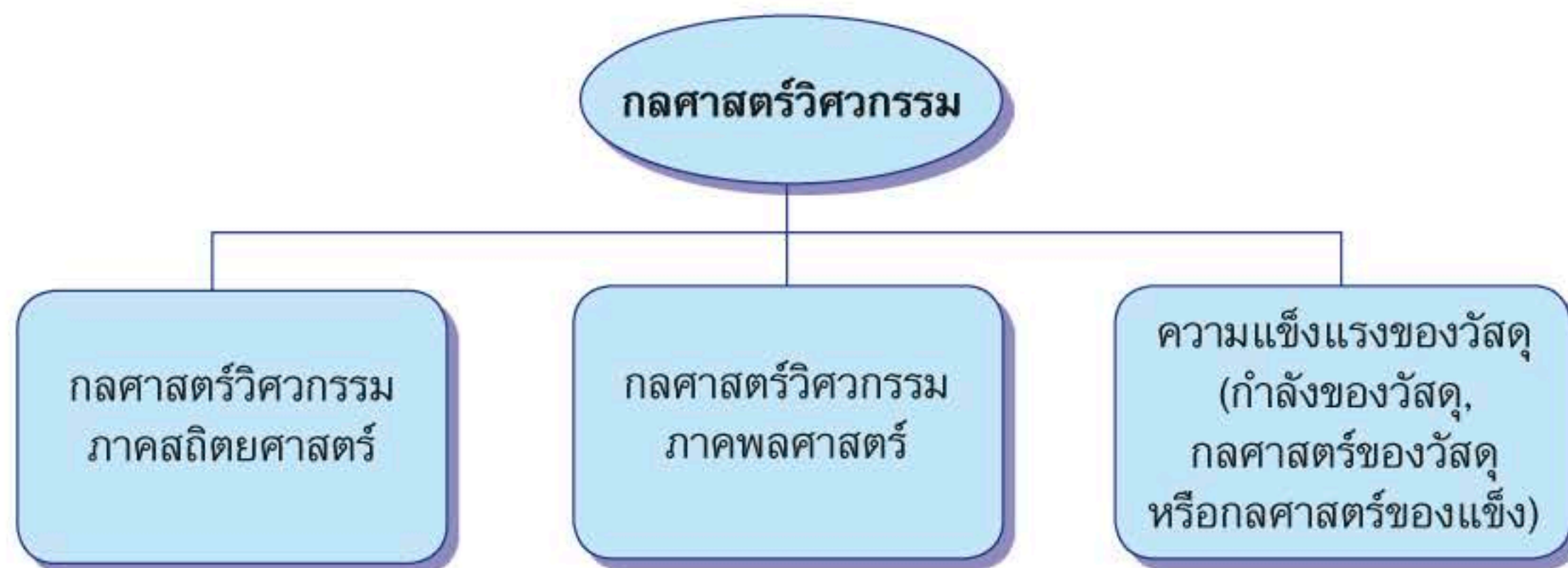
1.1 การวิเคราะห์ลักษณะแรงกระทำภายนอก

ก่อนที่จะกล่าวถึงเรื่องความเค้นและการวิเคราะห์ลักษณะแรงกระทำภายนอก (Analysis of Internal Forces) จำเป็นที่ต้องกล่าวถึงวิชาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเสียก่อน เพราะเมื่อมีความรู้พื้นฐานที่ดี จะทำให้เกิดความเข้าใจได้รวดเร็วมากขึ้น ในเนื้อหาวิชาความแข็งแรงของวัสดุนั้นจะเป็นส่วนย่อยส่วนหนึ่งของศาสตร์ด้านกลศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Mechanics) ซึ่งศาสตร์ด้านกลศาสตร์วิศวกรรมนี้จะมีรายละเอียด 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งประกอบไปด้วย

1. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์ (Statics) จะทำการศึกษาผลของแรง หรือโมเมนต์ในรูปแบบต่างๆ ที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในสภาวะสมดุล

2. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคพลศาสตร์ (Dynamics) จะทำการศึกษาผลของแรง หรือโมเมนต์ที่กระทำต่อวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ จะมีทั้งจลนศาสตร์ (Kinematics) ที่ศึกษาด้านระยะทาง ความเร็ว ความเร่ง โดยไม่คำนึงถึงแรงกระทำต่อวัตถุในขณะเคลื่อนที่นั้น ส่วนจลนพลศาสตร์ (Kinetics) จะศึกษาด้านแรง มวล ความเร่ง โดยที่จะคำนึงถึงแรงกระทำต่อวัตถุในขณะเคลื่อนที่

3. ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength of Materials) หรือกลศาสตร์ของวัสดุ (Mechanics of Materials) หรือกลศาสตร์ของแข็ง (Mechanics of Solids) จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกที่มากระทำและแรงภายในที่เกิดขึ้น เช่น แรงดึง แรงอัด แรงเฉือน แรงบิด หรือแรงดัด เป็นต้น ตลอดจนความสามารถในการรับแรงได้สูงสุด การพังเสียหายของวัสดุ และรวมถึงการออกแบบเพื่อป้องกันวัสดุเสียหายด้วย



รูปที่ 1.1 การแบ่งศาสตร์ด้านกลศาสตร์วิศวกรรม

ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับวัตถุนั้นจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะทิศทางของแรงกระทำ และรูปแบบของแรงกระทำกับวัตถุนั้นด้วยว่าเป็นแบบใด เพื่อจะสามารถนำมาวิเคราะห์และคำนวณได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์เพลาส่งกำลังของเครื่องยนต์ที่ทำงานอยู่ซึ่งจะมีแรงกระทำหลักแบบแรงบิด และการวิเคราะห์การหมุนของแขนกลก็จะมีลักษณะแรงกระทำแบบโมเมนต์ เป็นต้น ในการวิเคราะห์ลักษณะของแรงกระทำภายนอกจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ทิศทางของแรงกระทำและรูปแบบของแรงที่กระทำ ดังนี้

1.1.1 ทิศทางของแรงกระทำภายนอกกับวัตถุ

ทิศทางของแรงกระทำภายนอกกับวัตถุจะประกอบด้วย 7 ประเภท ดังนี้

1. แรงกระทำในแนวแกน (Axial Load) เป็นแรงที่กระทำผ่านแนวศูนย์กลางแรงกระทำทั้งหน้าตัด เป็นผลให้เกิดการหดตัวของชิ้นงานเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก)

2. แรงกระทำเฉพาะจุดกลาง (Central Load) เป็นแรงที่กระทำตรงจุดศูนย์กลาง ด้านบนจุดเดียว แรงไม่ได้กระทำทั่วทั้งหน้าตัด เป็นผลให้เกิดการโก่งตัวและหดตัวของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ข)

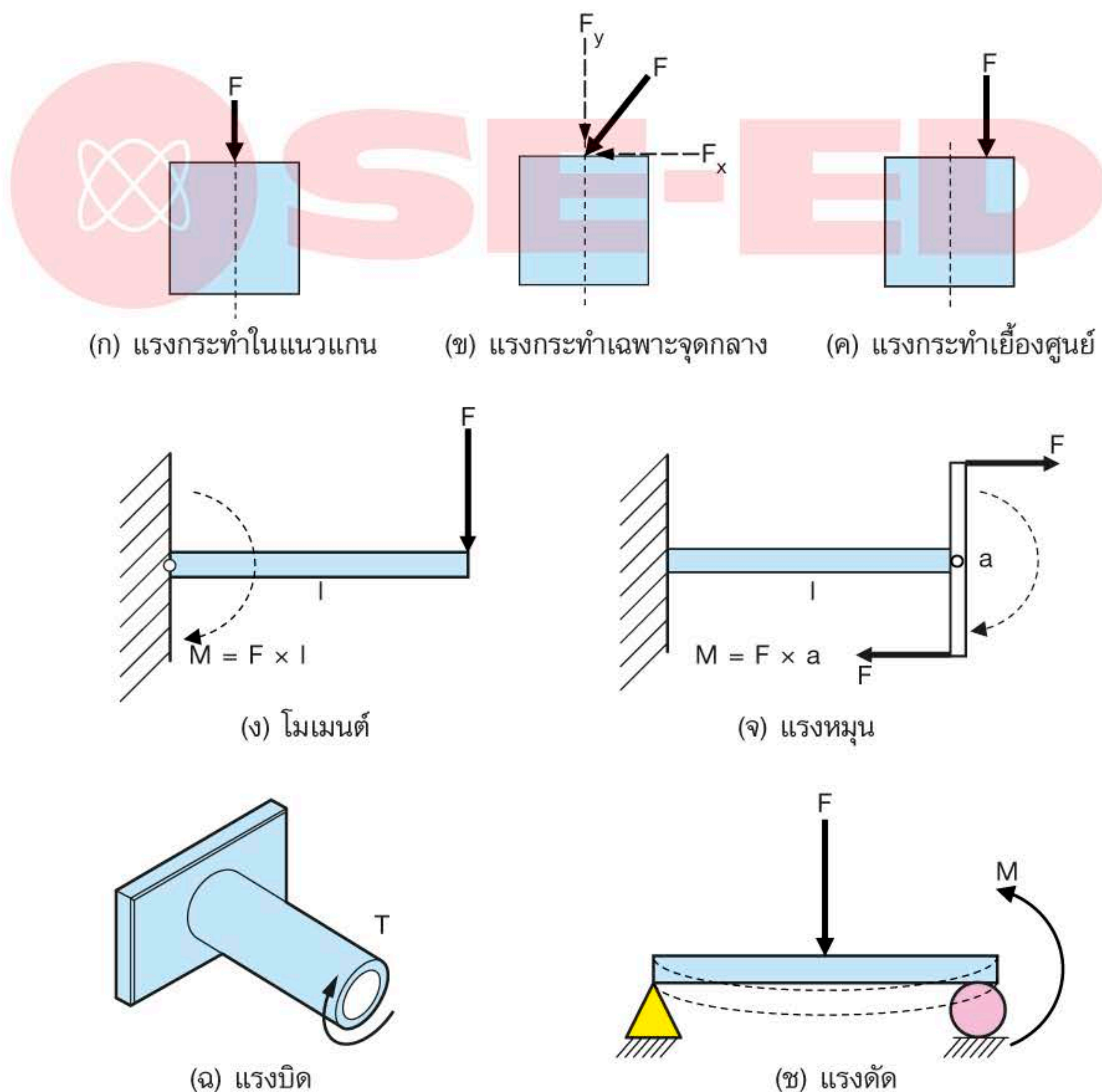
3. แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง (Concentric Load) เป็นแรงที่กระทำที่จุดใดๆ บนหน้าตัดชิ้นงาน เป็นผลให้มีแรงกระทำแบบเฉือนภายในวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ค)

4. โมเมนต์ (Moment) แรงกระทำกับวัสดุที่มีจุดยึดหรือจุดรองรับ เป็นผลให้แรงกระทำที่เกิดขึ้นพยายามให้เกิดการหมุนรอบจุดหมุนไปในทิศทางที่แรงกระทำตามสูตรการหาโมเมนต์ = แรง $\times$ ระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ง)

5. แรงหมุน (Couple) เมื่อมีแรงกระทำสองแรงในทิศทางตรงข้ามกันเป็นผลให้เกิด การหมุน แต่จะไม่มีแรงกระทำที่จุดหมุน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (จ)

6. แรงบิด (Tensional or Twisting Load) เป็นแรงที่กระทำให้วัตถุเกิดการหมุนรอบตัวในแนวแกน เป็นผลให้เกิดการหมุนบิดของวัตถุและมีแรงกระจายกระทำทั่วทั้งหน้าตัดของวัตถุ ส่วนวัตถุจะเกิดการบิดมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของวัตถุและแรงบิดที่กระทำ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ฉ)

7. แรงดัด (Bending Load) เป็นแรงที่กระทำบนชิ้นงานที่มีจุดรองรับ เช่น แรงกระทำบนคาน เป็นผลให้เกิดการโก่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ข)



รูปที่ 1.2 ลักษณะทิศทางของแรงกระทำภายนอกกับชิ้นงาน

1.1.2 รูปแบบของแรงที่กระทำกับวัตถุ

ด้านรูปแบบของแรงที่กระทำกับวัตถุจะประกอบด้วย 3 รูปแบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. แรงกระทำแบบนิ่ง (Static or Steady Load) เป็นแรงกระทำแบบคงที่บนวัตถุ ทั้งนี้รวมไปถึงแรงที่มาจากน้ำหนักของตัววัสดุเองด้วยและรวมไปถึงแรงกระทำแบบคงที่ในขณะที่มีการเคลื่อนที่

2. แรงกระทำแบบเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Variable Load) ประกอบด้วย แรงกระทำกลับไปกลับมา (Reverse Load) แรงกระทำซ้ำ (Repeated Load) แรงกระทำไม่สม่ำเสมอ (Fluctuating Load) และแรงกระทำสลับกัน (Alternating Load)

3. แรงกระแทก (Impact Load) เป็นรูปแบบแรงกระทำต่อวัตถุในระยะเวลาสั้นๆ วัตถุจะเกิดการเสียหายมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ ขนาดของแรงกระแทก บริเวณที่รับแรงกระแทก รวมถึงสภาวะอุณหภูมิของวัตถุเมื่อรับแรงกระแทก เช่น วัสดุที่ทำงานภายใต้ อุณหภูมิที่ต่ำมากจะสามารถรับแรงกระแทกได้น้อยลง เป็นต้น

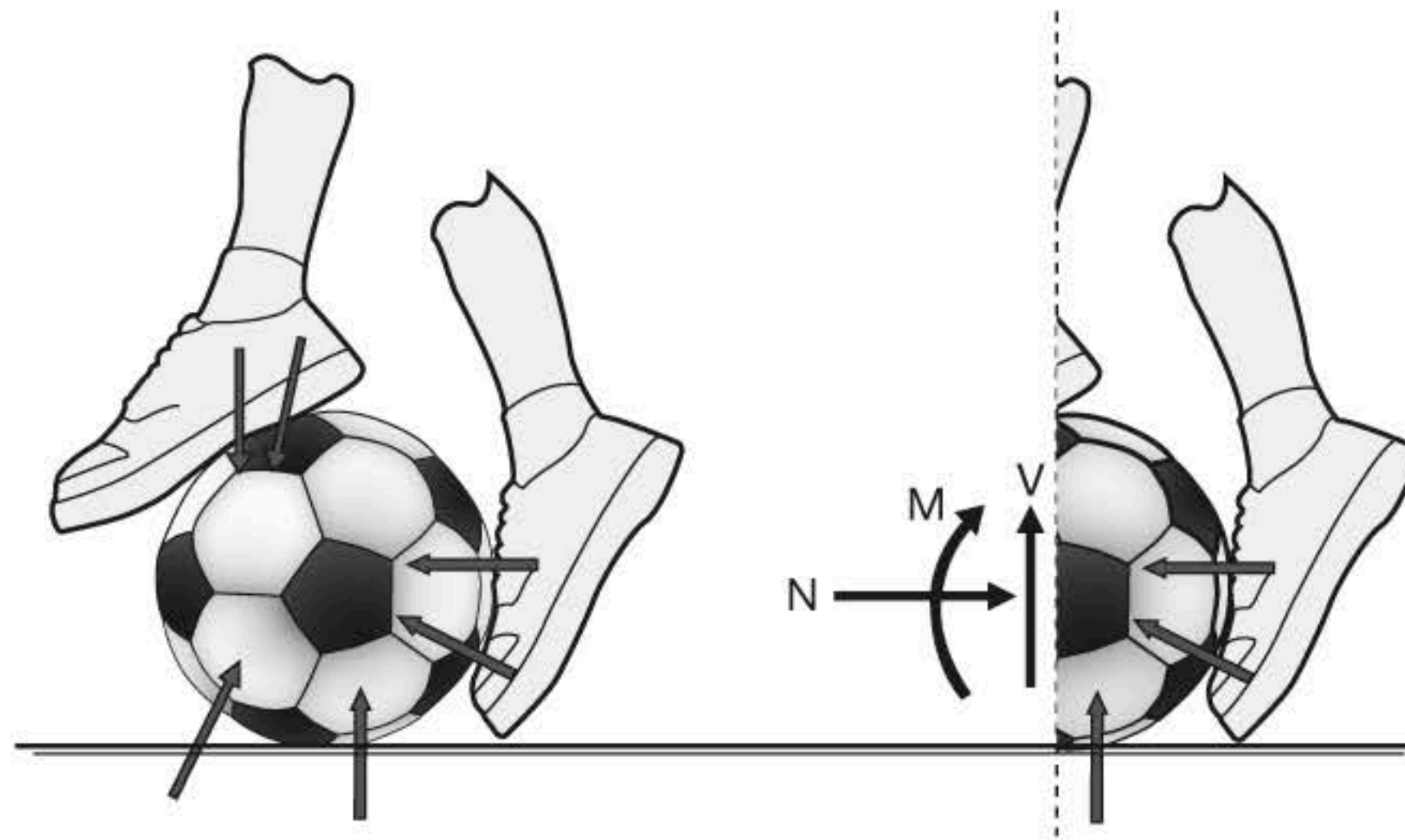
1.2 ความเค้นแบบปกติ

ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในทางวิศวกรรมต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุ โครงสร้างและประสิทธิภาพของชิ้นส่วนนั้นๆ ด้วยเพื่อจะสามารถวิเคราะห์คำนวณหาค่าความแข็งแรง การยึดตัว และคุณสมบัติของวัสดุได้ จากกฎข้อที่ 3 ของนิวตันที่ว่าไว้ว่า แรงกิริยาจะมีขนาดเท่ากับแรงปฏิกิริยา จะอยู่ในระนาบเดียวกันแต่มีทิศตรงข้ามกัน ดังนั้นเมื่อมีแรงใดๆ มากระทำกับวัตถุในสภาวะที่สมดุล จะมีแรงลัพธ์กระทำกลับมาในแนวแกนนั้นๆ ที่มีขนาดเท่ากับแรงกระทำ และในสภาวะเช่นนี้จะส่งผลให้เกิดความเค้นแบบปกติ (Normal Stress) ขึ้นในวัสดุ การเกิดความเค้นแบบปกติในวัสดุนี้จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงที่มากกระทำ เช่น ลูกบอลมีแรงกระทำในขนาดและทิศทางที่แตกต่าง กันก็จะมีแรงลัพธ์กระทำกลับมาในแนวแกนนั้นๆ ในขนาดที่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาแรงปฏิกิริยาภายในที่เกิดขึ้นและแยกแรงออกมาตามทิศทางแนวแรงกระทำจะมีผลรวมใน 3 ทิศทาง ดังนี้

เมื่อ $\sum F_x = 0$ เป็นแรงตั้งฉาก สัญลักษณ์ N

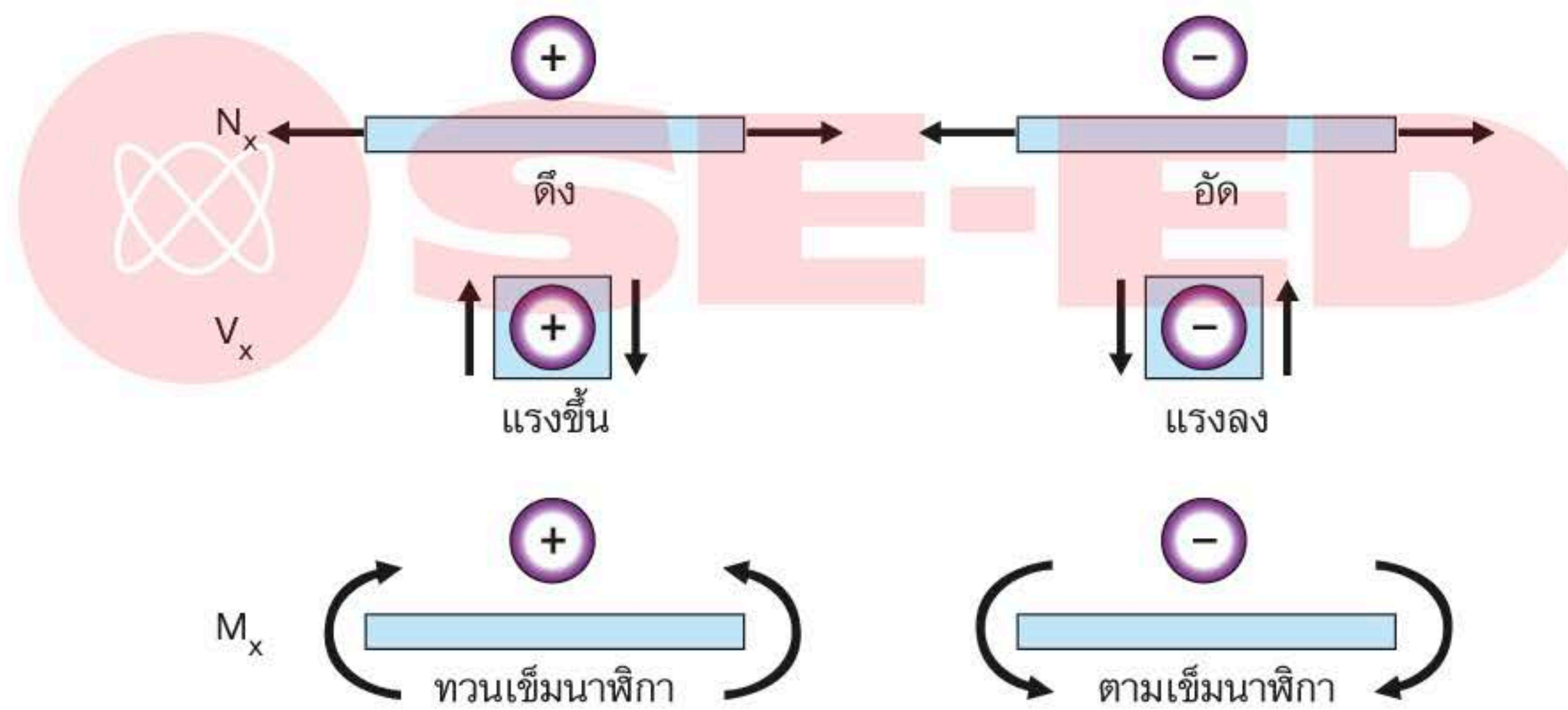
เมื่อ $\sum F_y = 0$ เป็นแรงเฉือน สัญลักษณ์ V

เมื่อ $\sum M = 0$ โมเมนต์ดัด สัญลักษณ์ M



รูปที่ 1.3 การเกิดแรงปฏิกิริยาเมื่อมีแรงกระทำกับลูกฟุตบอลในทิศทางต่างๆ

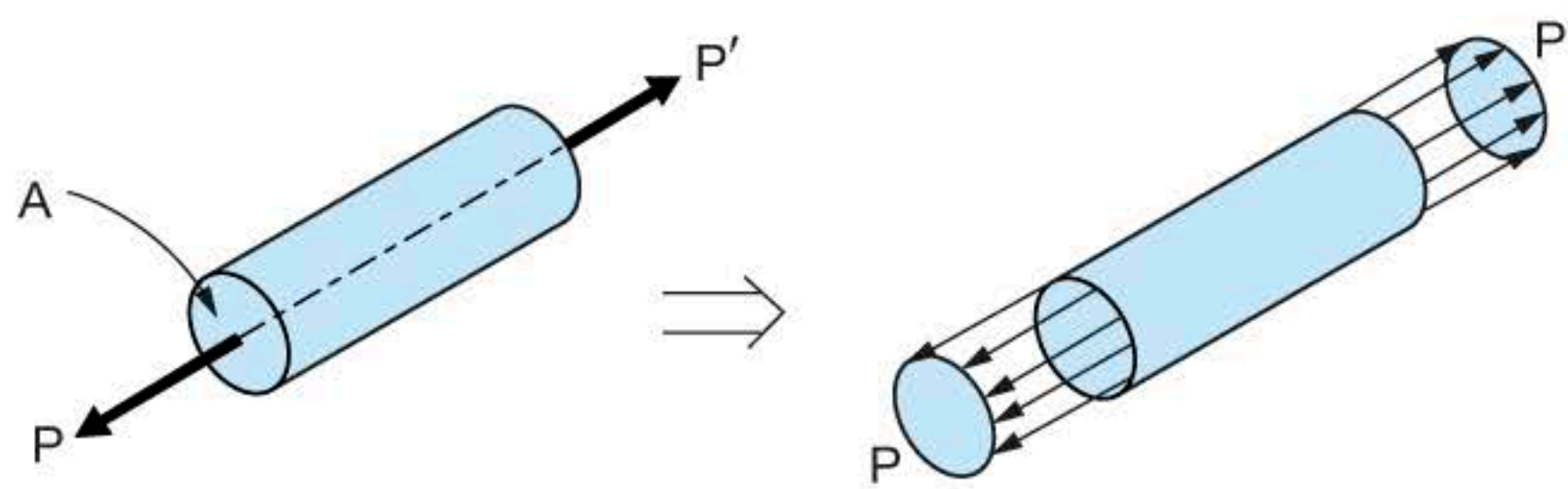
นอกจากนั้นแล้วในการวิเคราะห์ผลรวมของแรงในทิศทางที่ตรงข้ามกันจะกำหนดให้มีเครื่องหมายของแรงมีค่าเป็นค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 เครื่องหมายของแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.2.1 ความเค้นจากแรงกระทำในแนวแกน

จากรูปที่ 1.5 เมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุในแนวแกนจะเกิดแรงกระทำภายในกับวัตถุเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงและมีทิศทางแนวเดียวกันแรงกระทำ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเกิดความเค้นจากแรงกระทำในแนวแกน (Stress on Axial Loading)



รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของแรงกระทำภายในวัสดุต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัด

ดังนั้นความเค้นจึงหมายถึงแรงกระทำภายในวัสดุที่กระทำต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัด หรือความหนาแน่นของแรงที่รวมอยู่บนพื้นที่หน้าตัด โดยใช้สัญลักษณ์อักษรกรีกคือ σ เรียกว่า ชิกมา

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ คือความเค้นปกติ

P คือแรงกระทำต่อวัสดุ

A คือพื้นที่หน้าตัดของวัสดุภายใต้แรงกระทำ

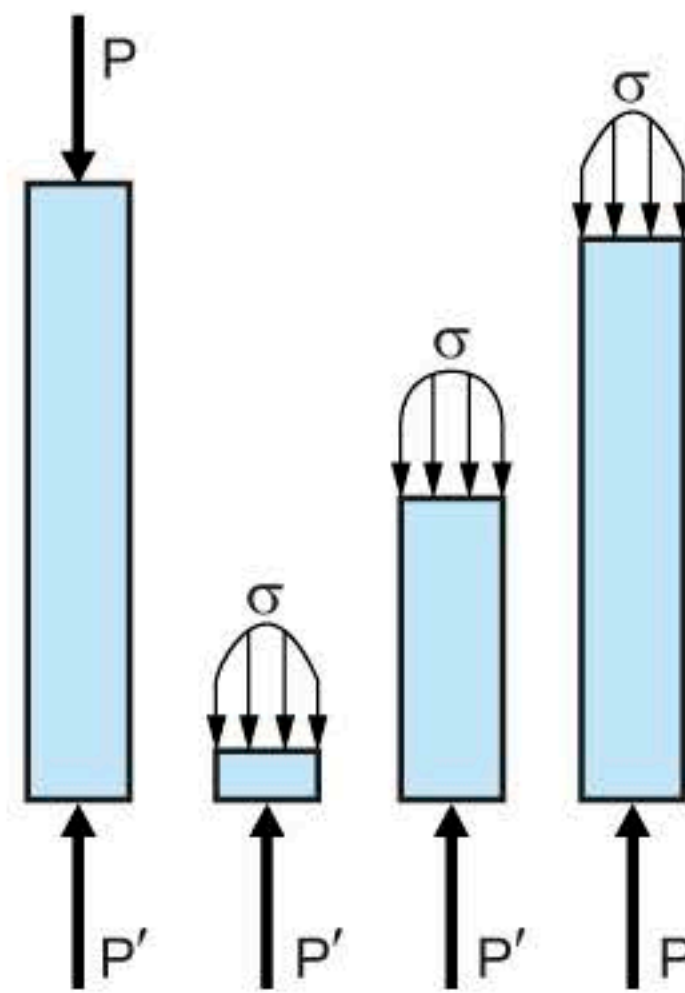
ความเค้นจะมีหน่วยเรียกที่แตกต่างกันไป เช่น นิวตัน/ตารางเมตร (N/m^2) หรือส่วนใหญ่จะเรียกว่า ปาสคาล (Pa) และปอนด์/ตารางนิ้ว (lbf/in^2) มีสัญลักษณ์ว่า psi ในการเปรียบเทียบแรงในระบบเมตริกจะสามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ lbf/in}^2 = 6,894.757 \text{ Pa} = 6,894.757 \text{ N/m}^2$$

ความเค้นที่เกิดขึ้นจากสภาวะที่รับแรงดึงกระทำกับวัสดุในแนวแกนเรียกว่า ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เช่น สายกีตาร์ที่อยู่ในสภาวะรับแรงดึงจะเกิดความเค้นมากหรือน้อยนั้นจะมีผลมาจากแรงกระทำและพื้นที่หน้าตัดของสายกีตาร์ ซึ่งในแต่ละเส้นจะมีขนาดไม่เท่ากัน ความเค้นที่เกิดขึ้นย่อมไม่เท่ากันด้วย ใช้สัญลักษณ์อักษรกรีก σ_t สมการความเค้นแรงดึงคือ $\sigma_t = \frac{P}{A}$



รูปที่ 1.6 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของหน้าตัดจะเกิดขึ้นไม่เท่ากัน

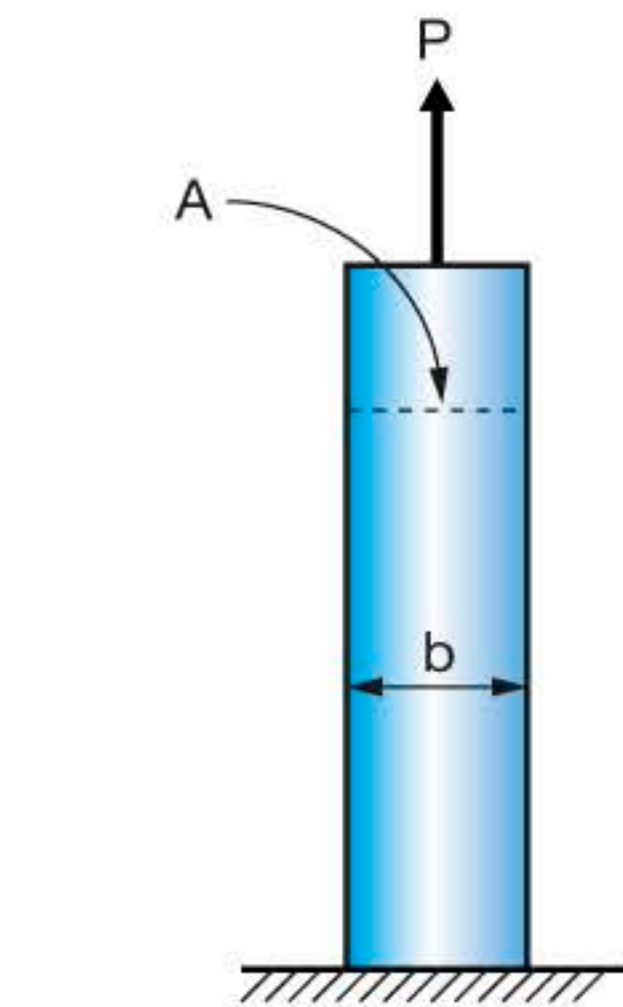
จากรูปที่ 1.6 มีแรงกดกระทำกับวัสดุในแนวแกน (Axial Load) ความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของหน้าตัดจะเกิดขึ้นไม่เท่ากัน เช่น ในส่วนบนใกล้แรงกระทำจะเกิดความเค้นสูงบริเวณแนวแกน และกระจายลดลงไปจนถึงขอบทั้ง 2 ด้าน ในส่วนกลางจะเกิดความเค้นกระจายใกล้เคียงกัน และในส่วนปลายจะมีลักษณะรูปแบบใกล้เคียงกับส่วนบน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละส่วนจะเกิดการกระจายของความเค้นไม่เท่ากันและมีรูปแบบต่างกัน การหาค่าความเค้นแบบทั้งชิ้นงานจะหาได้โดยการอินทิเกรตในแต่ละส่วนของหน้าตัด ดังสมการ

$$P = \sigma_{ave} A = \int dF = \int_A \sigma dA$$

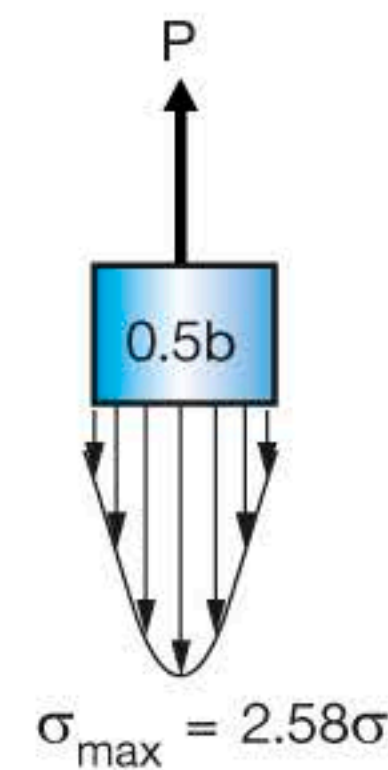
หรือใช้ความเค้นเฉลี่ย (σ_{ave}) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่า ดังนั้นจึงใช้สมการ

$$\sigma_{ave} = \frac{P}{A}$$

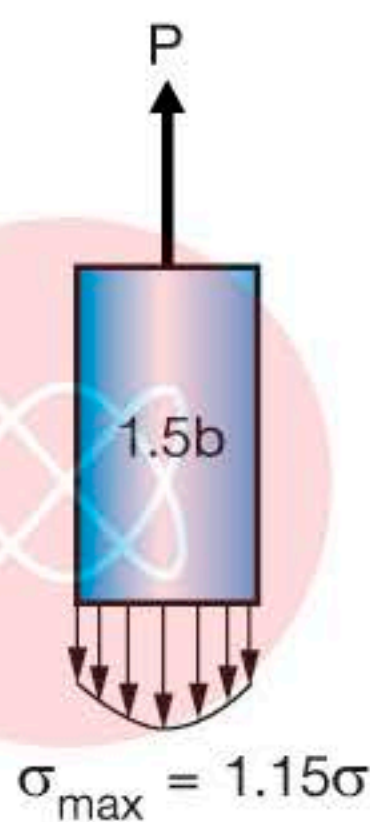
ควรใช้ความเค้นเฉลี่ยในการคำนวณเพราะว่าปริมาณความเค้นที่เกิดในพื้นที่หน้าตัด (A) ในแต่ละส่วนจะไม่เท่ากัน ในกรณีที่มีแรงกระทำภายใต้หน้าตัดใดๆ มีค่าความกว้าง (b) คงที่และด้านล่างถูกยึดแน่น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ก) จะเกิดค่าความเค้นปกติในวัตถุ และค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของหน้าตัดจะเกิดขึ้นไม่เท่ากัน จึงสามารถประมาณค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่หน้าตัดออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ 0.5b มีค่าความเค้นสูงสุดประมาณ 2.58σ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ข) ที่ 1.5b ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นประมาณ 1.15σ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ค) และที่ 2.5b ค่าความเค้นสูงสุดประมาณ 1.002σ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ง) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งสุดท้ายที่ 2.5b นี้จะเป็นจุดที่ใกล้บริเวณการยึดแน่นค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าสูงกว่าค่าความเค้นเฉลี่ยทั้งชิ้นงานอยู่ประมาณ 0.2%



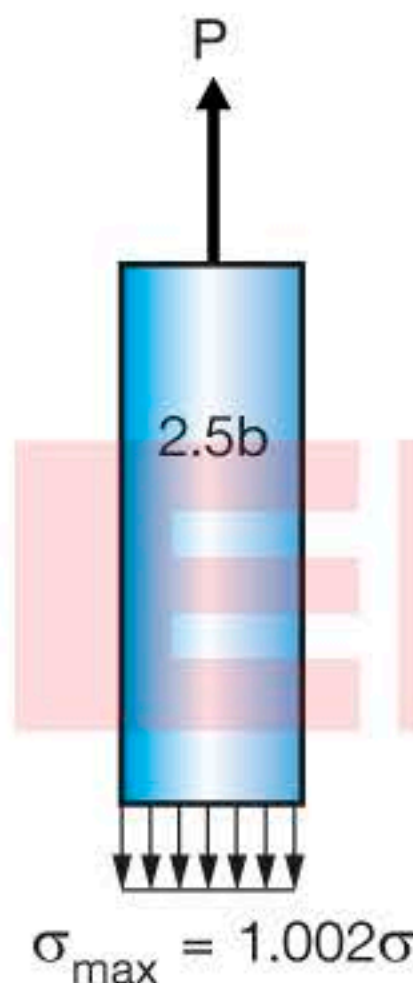
(ก) หน้าตัดใดๆ ที่ความกว้างคงที่ และด้านล่างถูกยึดแน่น



(ข) ที่ 0.5b มีค่าความเค้นสูงสุด ประมาณ 2.58 σ



(ค) ที่ 1.5b ค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นประมาณ 1.15 σ

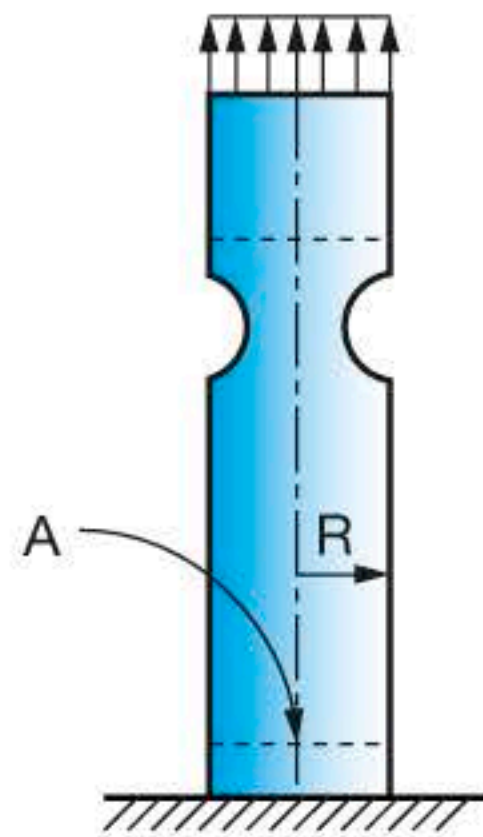


(ง) ที่ 2.5b ค่าความเค้นสูงสุด ประมาณ 1.002 σ

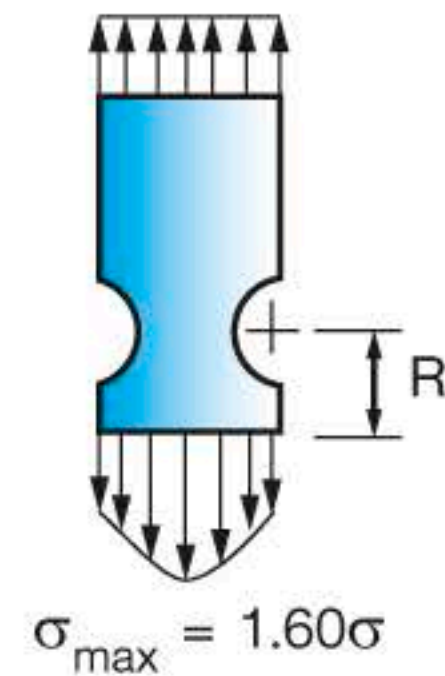
รูปที่ 1.7 การประมาณค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในพื้นที่หน้าตัดความกว้างคงที่

1.2.2 ทฤษฎีของเซนต์วีแนนท์

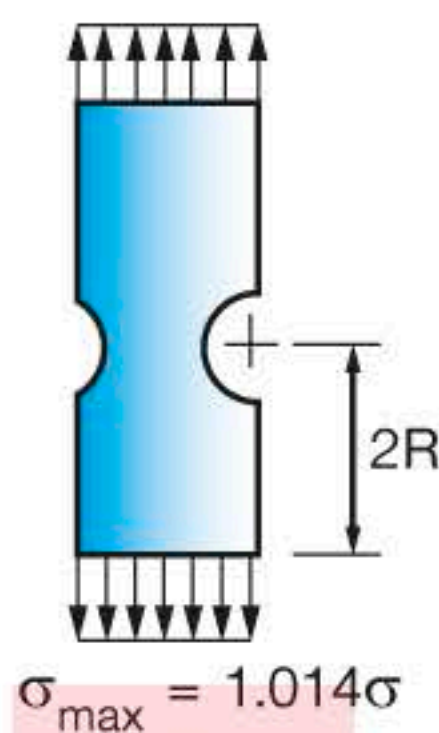
ทฤษฎีของเซนต์วีแนนท์เป็นผลการทดลองของนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ศึกษาผลกระทบของแรงที่กระทำบนท่อนวัสดุที่มีลักษณะเป็นร่องหรือรอยบากมีรัศมี (R) ให้แรงในการทดสอบแบบสม่ำเสมอ (P) และด้านล่างถูกยึดแน่น ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (ก) ผลการทดสอบสามารถประมาณค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในหน้าตัดออกเป็นส่วนๆ โดยค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะกำหนดระยะจากจุดศูนย์กลางที่เกิดรอยบากจนถึงบริเวณหน้าตัด โดยที่ระยะ R จะมีค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น ประมาณ 1.60 σ ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (ข) และที่ระยะ 2R จะมีค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นประมาณ 1.014 σ ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (ค) ในการออกแบบสามารถใช้ทฤษฎีของเซนต์วีแนนท์มาประกอบในบริเวณที่มีการเจาะรอยบาก การลบมุม หรือบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนรูปจากเดิมในบริเวณใกล้เคียงนั้นจะมีค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นสูงประมาณ 1.6 เท่า ซึ่งอาจก่อให้เกิดการขาดหรือพังเสียหายในบริเวณนั้นได้



(ก) หน้าตัดใดๆ ที่มีรอยบาก และด้านล่างถูกยึดแน่น



(ข) ที่ระยะ R ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นประมาณ 1.60σ



(ค) ที่ระยะ $2R$ จะมีค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นประมาณ 1.014σ
รูปที่ 1.8 การประมาณค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในหน้าที่มีรอยบาก

1.2.3 ความเค้นแรงอัด

ความเค้นตั้งฉากแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ ความเค้นแรงดึงและความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) ในด้านความเค้นแรงอัดนั้นจะใช้หลักการเดียวกับความเค้นแรงดึง ซึ่งภายใต้สภาวะแรงอัดจะมีความเค้น 2 แบบคือ

ความเค้นแรงอัด จะมีแรงอัดกระทำกับวัสดุจนเกิดวัสดุเสียหายเพียงแรงเดียว อาจเป็นแรงแบบกระทำในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 1.9 (ก) หรือกระทำแบบเยื้องศูนย์กลาง (Concentric Load) ก็ได้ จะใช้สัญลักษณ์อักษรกรีก σ_c สมการความเค้นแรงอัด

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

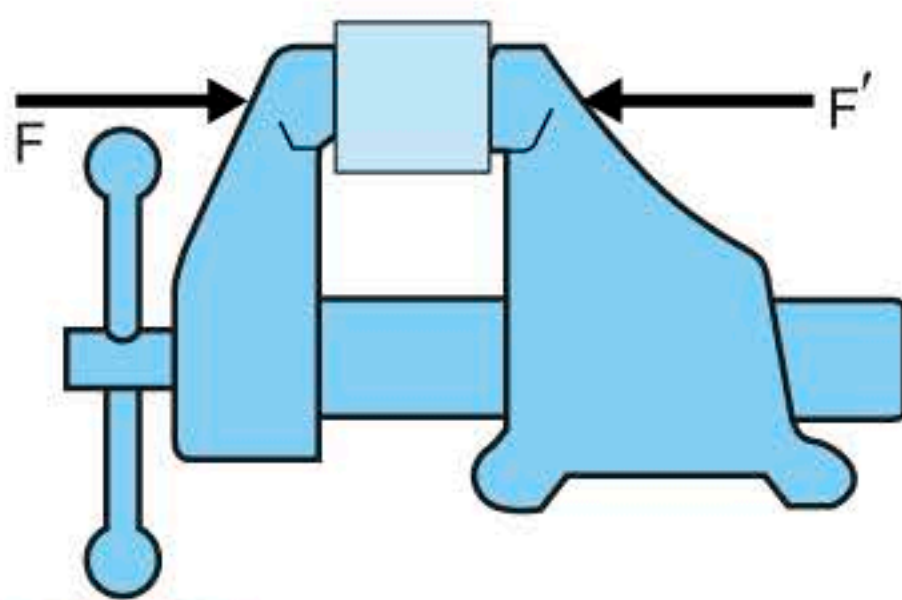
ความเค้นแรงอัดร่วม (Bearing Stress) ในสภาวะนี้จะมีแรงอัดกระทำหลักและมีแรงอื่นกระทำร่วมด้วยจนเกิดความเสียหาย เช่น ความเค้นที่เกิดขึ้นในโบลต์ สลัก หรือหมุดย้ำที่ยึดแผ่นเหล็กไว้ ดังแสดงในรูปที่ 1.9 (ข) แรงอัด F กระทำที่ตัวหมุดย้ำทั้ง 2 ด้าน จะเกิดแรงอัด P กระทำกลับมา

ยังพื้นผิวในของเหล็กแผ่นส่งผลให้ตัวหมุดย้ำและแผ่นเหล็กมีแรงอัดกระทำทั้งคู่ สมการความเค้นแรงอัดรวม

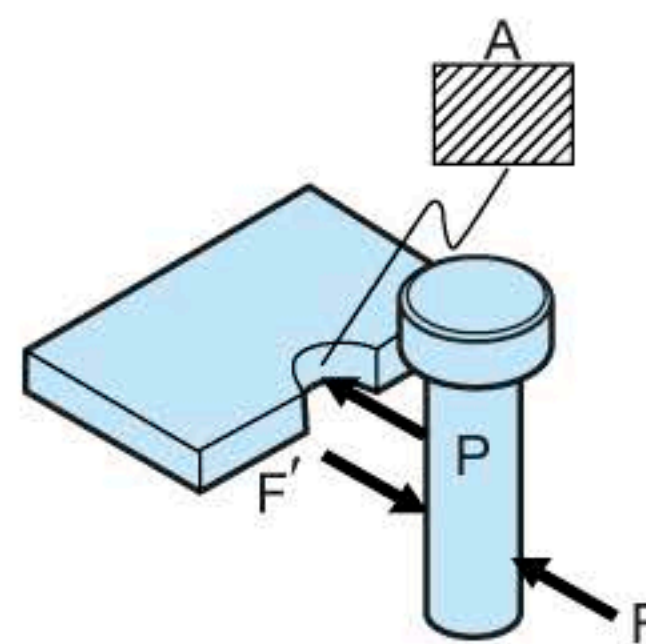
$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_b} = \frac{P}{td}$$

เมื่อ t คือความหนาชิ้นงาน

d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู



(ก) ความเค้นอัดในปากกาจับชิ้นงาน



(ข) ความเค้นแรงอัดรวมในโบลต์สลัก หรือหมุดย้ำ

รูปที่ 1.9 ลักษณะชิ้นงานที่รับความเค้นอัด

ตัวอย่างที่ 1.1 จงหาค่าความเค้นแรงดึง σ_t ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.01×0.01 m และมีแรงกระทำ 500 N

วิธีทำ หาค่าความเค้นแรงดึง

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{P}{A} = \frac{500 \text{ N}}{0.01 \times 0.01} \\ &= \frac{500 \text{ N}}{0.0001 \text{ m}^2} \\ &= 5 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ หรือ } 5 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 จงหาค่าความเค้นแรงอัด σ_c ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $15 \times 15 \text{ mm}$ เมื่อมีแรงกระทำ 600 N

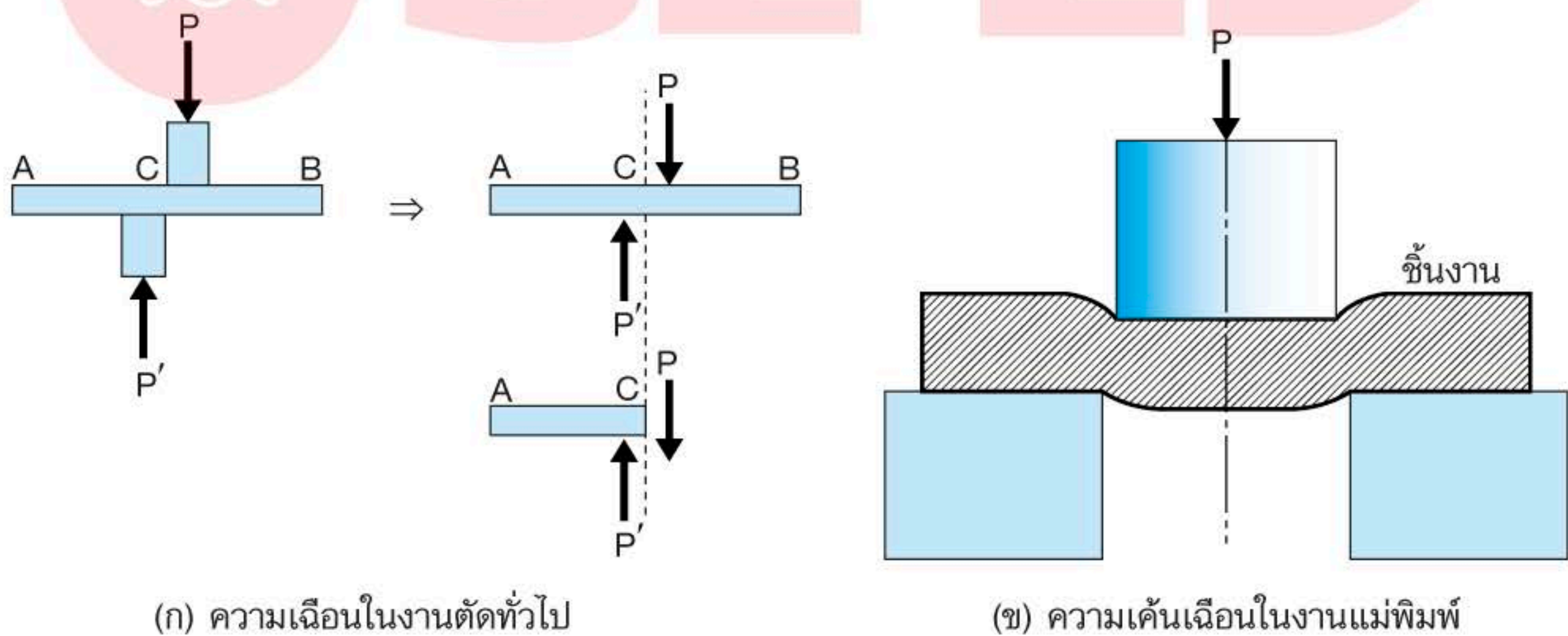
วิธีทำ หาค่าความเค้นแรงอัด

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{P}{A} = \frac{600 \text{ N}}{0.015 \text{ m} \times 0.015 \text{ m}} \\ &= \frac{600 \text{ N}}{0.000225 \text{ m}^2} \\ &= 2.66 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ หรือ } 2.66 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

ตอบ

1.3 ความเค้นเฉือน

เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงกระทำที่เอียงศูนย์กลางแนวแรงกระทำจะอยู่ต่างระนาบกันทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.10 (ก) ผลลัพธ์จากแรงเฉือนที่กระทำจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shearing Stress) ใช้สัญลักษณ์อักษรกรีกคือ τ เรียกว่า เทา ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจะเริ่มจากศูนย์กลางบริเวณผิวของชิ้นงาน และจะเกิดความเค้นเฉือนสูงเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่บริเวณส่วนขอบ ส่วนรูปที่ 1.10 (ข) ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานในแม่พิมพ์ตัด สมการความเค้นเฉือนเฉลี่ย $\tau_{ave} = \frac{P}{A}$

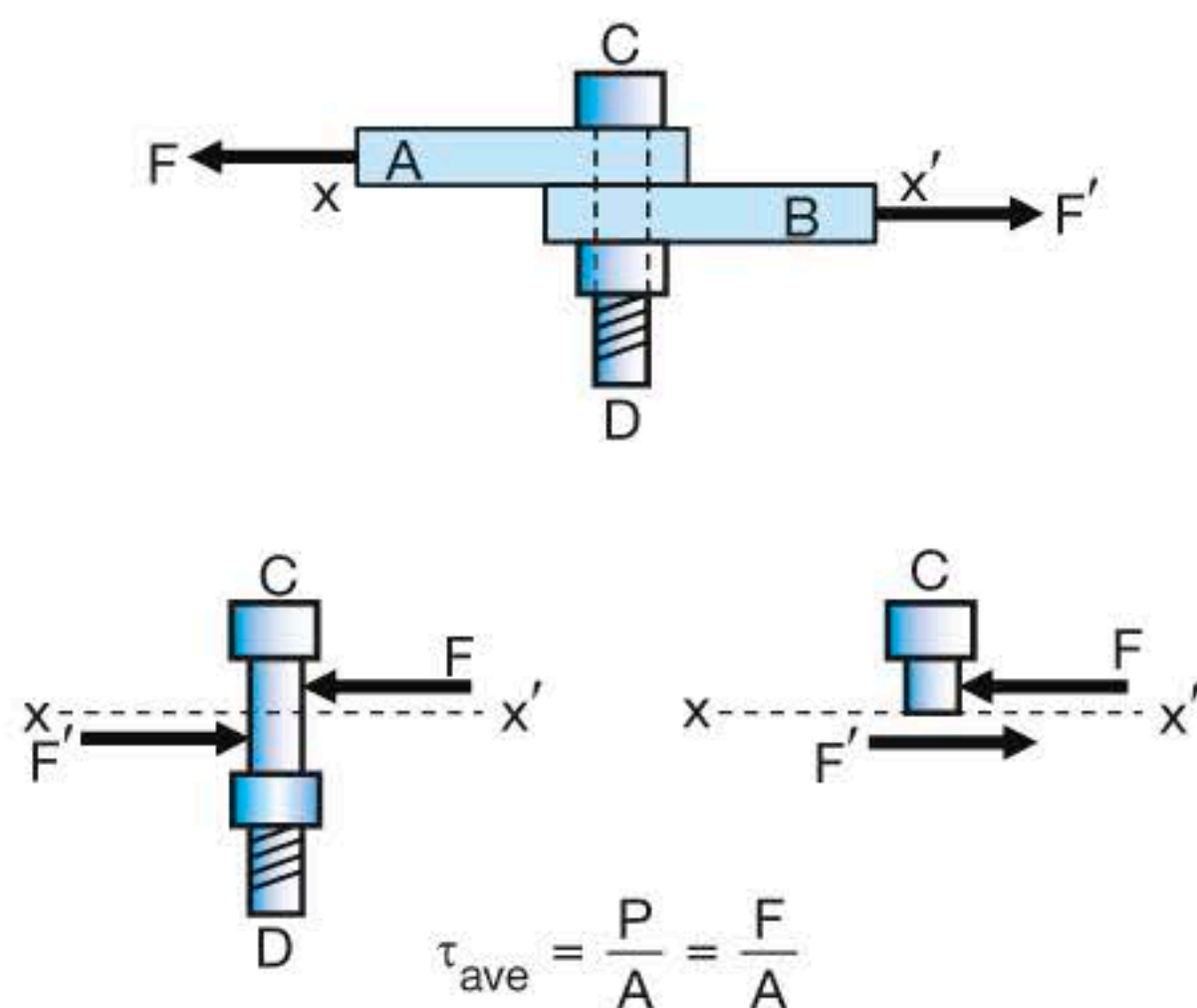


(ก) ความเค้นในงานตัดทั่วไป

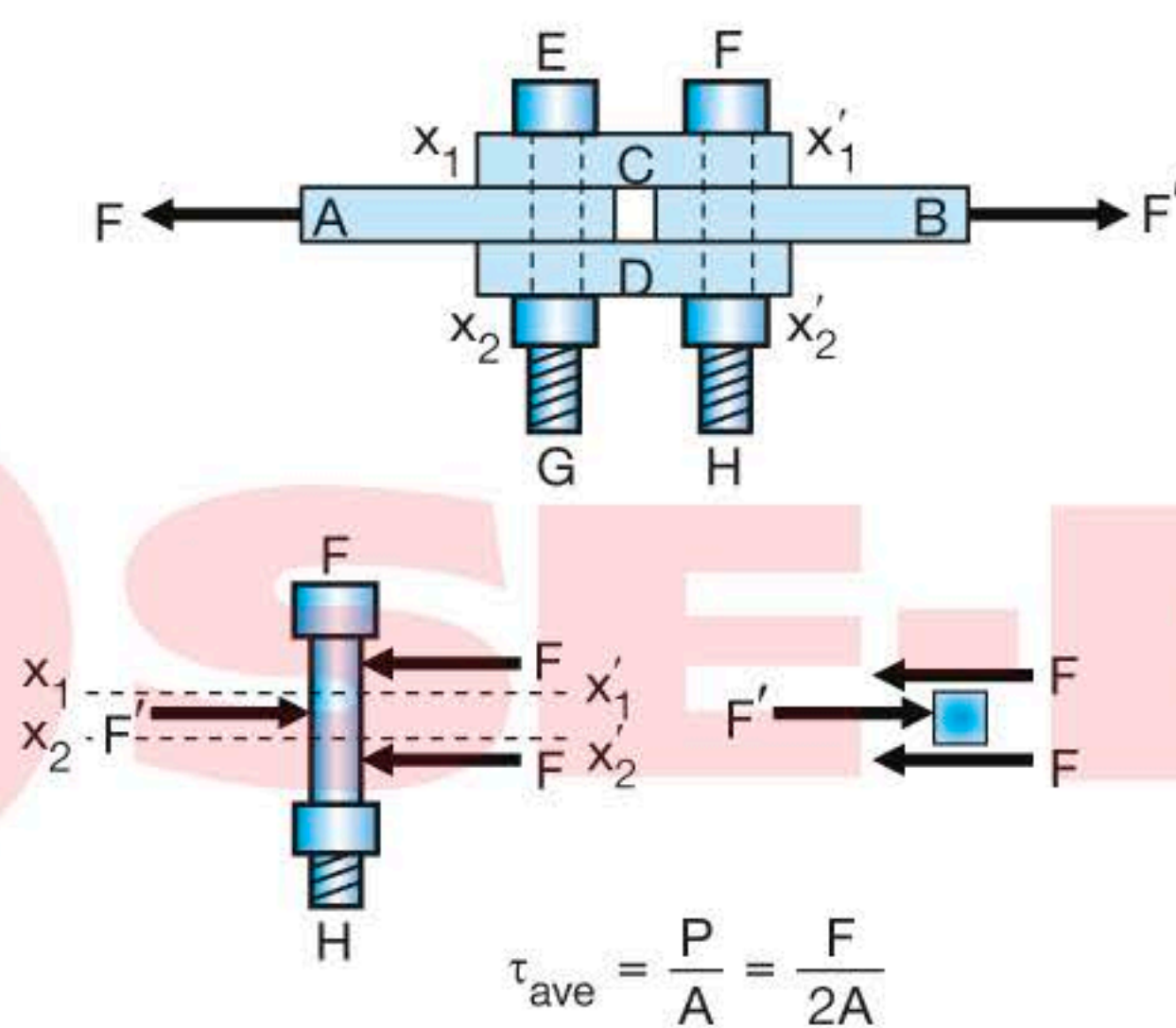
(ข) ความเค้นเฉือนในงานแม่พิมพ์

รูปที่ 1.10 สภาวะแรงเฉือน

สภาวะชิ้นงานรับแรงเฉือนจะมีอยู่ 2 แบบคือ แรงเฉือนแบบแนวเดียว (Single Shear) ดังแสดงในรูปที่ 1.11 (ก) และแรงเฉือนแบบสองแนว (Double Shear) ดังแสดงในรูปที่ 1.11 (ข)



(ก) แรงเฉือนแบบแนวเดียว

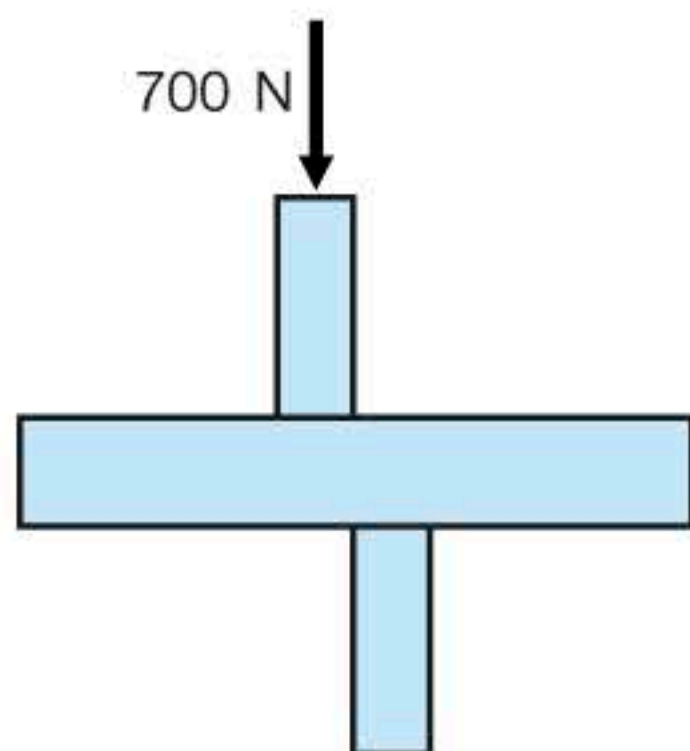


(ข) แรงเฉือนแบบสองแนว

รูปที่ 1.11 แรงเฉือนในโบลต์และนอต

ตัวอย่างที่ 1.3 จงหาค่าความเค้นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 12×12 mm

วิธีทำ หาค่าความเค้นแรงเฉือน



$$\begin{aligned}\tau_{ave} &= \frac{P}{A} \\ \tau_{ave} &= \frac{700 \text{ N}}{0.012 \text{ m} \times 0.012 \text{ m}} \\ \tau_{ave} &= 4.861 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \\ &\text{หรือ } 4.861 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

ตอบ

ความแข็งแรงของวัสดุ

หนังสือ **ความแข็งแรงของวัสดุ** เล่มนี้ ใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา **ความแข็งแรงของวัสดุ** ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และรายวิชา กลศาสตร์ของวัสดุ ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต เนื้อหาครอบคลุมรายวิชา **ความแข็งแรงของวัสดุ** ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรมอีกด้วย และเหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเพิ่มพูนความรู้ทุกท่าน โดยเนื้อหามุ่งเน้นให้ผู้อ่านเกิดความรู้และมีทักษะการคำนวณเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ตลอดจนการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้งานจริงได้ ซึ่งเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 9 บท ได้แก่ ความเค้น ความเครียด กฎของฮุก กฎของพลังงานความเครียด และความเค้นข้ามกัน ความเค้นความเครียดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและความเค้นในวัสดุที่ทำการต่อการบิดของเพลลาและความเค้นภายในผนังบาง แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดบนคาน คานและแรงกระทำบนคาน การรวมความเค้น การออกแบบคานและเพลลา และพฤติกรรมของวัสดุ

ประวัติผู้เขียน

พศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง



การศึกษา

- จบการศึกษา วศ.ม. (เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การทำงาน

- ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (กว.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ระดับภาคีวิศวกร สภาวิศวกร

- เคยดำรงตำแหน่งผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายกฎหมาย
- คณะกรรมการบริหารงานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- คณะกรรมการประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ตัวแทนคณาจารย์)
- ประธานหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ผลงานด้านวิชาการและงานวิจัย

- ผลงานการเขียนตำรา ได้แก่ *กลศาสตร์ของวัสดุ* และ *เทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ*
- การวิจัยและพัฒนาวัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2-3A (อนุสิทธิบัตร เลขที่ 9250)
- การเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนโดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN
- การวิจัยและพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนอินทิลเพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวนในจังหวัดเพชรบูรณ์
- การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ OTOP ด้วยวิศวกรรมเคลือบผิว
- การศึกษาอิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ในกรรมวิธีการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นต้น



www.se-ed.com



sbc.fans

ISBN 978-616-08-2773-2



9 786160 827732

220 บาท

คู่มือเรียน-สอบ/อุดมศึกษา-กำลังวัสดุ