

การทดสอบกำลังวัสดุ (Strength of Materials Test)

อรุณ สว่างศรี

การออกแบบคำนวณงานทางวิศวกรรม นิสิต นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ และวิศวกรทั่วไป ต้องเข้าใจ หลักการและทฤษฎีการวิเคราะห์ความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ของวัสดุ เช่น เหล็กโครงสร้าง โลหะผสม คอนกรีต ดังนั้นสิ่งที่สำคัญในการออกแบบคำนวณงานทาง วิศวกรรม วิศวกรจำเป็นต้องทราบกำลังของวัสดุ (strength of materials) ที่จะนำมาใช้ในงานนั้นๆ

กำลังวัสดุ คือ ความต้านทานสูงสุดของวัสดุในการรับน้ำหนัก หรือแรงที่กระทำต่อ 1 หน่วยพื้นที่ แรงกระทำ อาจเป็นแรงดึงหรือแรงอัดโดยตรง หรือแรงเฉือน (shearing) หรือแรงหมุน (moment) หรือแรงบิด (torsion) ก็ได้ กำลังวัสดุโดยทั่วไปจะพิจารณาจากความเค้น (แรงต่อ 1 หน่วยพื้นที่) ความเครียด (การเปลี่ยนแปลงในความยาว ภายใต้การกระทำของแรง หรือการยืด หรือการหดตัวของ วัสดุต่อ 1 หน่วยความยาวเดิม) และการยืดหรือหดตัว (elongation) (การยืดหรือหดตัวสูงสุด เทียบกับความยาว เดิมก่อนการรับแรง หรือน้ำหนัก คุณด้วย 100 หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (ร้อยละ) ภายในที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุระหว่าง การรับแรงหรือน้ำหนัก)

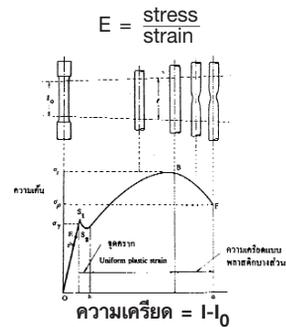
วัสดุทุกชนิดที่ใช้ในงานวิศวกรรม เป็นวัสดุยืดหยุ่น (elastic) คือ ยึดตัวเมื่อได้รับแรงดึง และหดตัวเมื่อได้รับ แรงอัด และสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อไม่มีแรงมา กระทำ ในการออกแบบงานทางวิศวกรรม วิศวกรจำเป็นต้องทราบความสามารถสูงสุดของวัสดุที่จะนำมาใช้งาน คือ กำลังวัสดุ (strength of materials) ซึ่งสามารถหาได้ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยการทดสอบแรงดึง (tensile) หรือแรงอัด (compressive)

กฎของฮุก (Hooke's law)

ในปี ค.ศ.1660 โรเบิร์ต ฮุก ชาวอังกฤษได้ศึกษา การเสียรูปของวัสดุเมื่อรับน้ำหนัก โดยได้ทำการทดลอง กับสปริงและเส้นลวด ซึ่งได้พิสูจน์ให้เห็นว่าวัสดุก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะมีความยืดหยุ่นเมื่อได้รับน้ำหนัก และการ เสียรูปของวัสดุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำ กฎของฮุกนี้ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลการทดลองเมื่อปี ค.ศ.1678

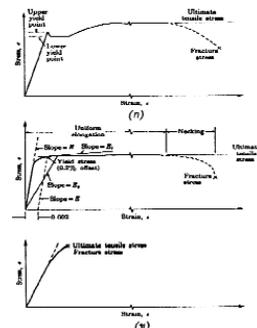
และได้วางรากฐานที่จำเป็นสำหรับทฤษฎีการยืดหยุ่น (Theory of Elasticity) ของวัสดุ

จากทฤษฎีการยืดหยุ่น ความเค้นและความเครียด สัมพันธ์กันโดยตรง และมักจะเป็นเส้นตรงในช่วงยืดหยุ่น แต่ถ้าความเค้นเกินจุดคราก (yield point) เป็นจุดที่วัสดุ ยึดตัวออกโดยไม่ต้องเพิ่มแรง ความเครียดจะเกิดมากขึ้น วัสดุจะกลายเป็นพลาสติก (plastic) คือ ไม่มีสภาพ การยืดหยุ่น ความลาดของเส้นสัมพันธ์ความเค้น- ความเครียดในช่วงยืดหยุ่นนี้ คือ มอดูลัสของการยืดหยุ่น หรือ Young's modulus ซึ่งแทนค่าด้วย E (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จากการทดสอบแรงดึง

โครงสร้างภายในของเนื้อวัสดุ จะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการเรียงตัวของอะตอม และข้อบกพร่องประเภท รูพรุน หรือช่องว่างระหว่างอะตอม หรือตำแหน่งของอะตอม อยู่ผิดที่ เช่น เหล็กเหนียว เหล็กหล่อ ทองแดง ทองเหลือง จึงทำให้มีค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความยืดและความแข็งแตกต่างกันไป (ดังภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 เส้นสัมพันธ์ความเค้น - ความเครียดจากการทดสอบแรงดึง (ก) เหล็กเหนียว และ (ข) เหล็กหล่อ

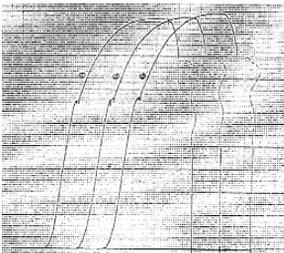
การทดสอบวัสดุโลหะในห้องปฏิบัติการ

มาตรฐานโดยทั่วไป ที่ใช้ในการทดสอบกำลังวัสดุโลหะ ได้แก่ ISO ASTM JIS AS DIN และ มอก. จะกำหนดให้ทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุโลหะ ดังนี้

1. ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (yield strength) หรือความเค้นคราก (yield stress)
2. ความต้านแรงดึง (tensile strength) หรือความเค้นดึงสูงสุด (maximum tensile stress)
3. ความยืด (elongation)
4. มอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) หรือ Young's modulus

การทดสอบแรงดึงวัสดุโลหะ (tensile test)

เป็นการทดสอบหาลำดับวัสดุ โดยทั่วไปจะทดสอบแรงดึงในแนวตั้ง (vertical) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแนวตั้งที่นิยมในห้องปฏิบัติการทั่วไปจะเป็นเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ซึ่งในขณะที่เครื่องทดสอบแรงดึงกำลังทดสอบ เครื่องทดสอบแรงดึงจะเขียนกราฟแสดงสถานะของวัสดุโลหะที่กำลังทดสอบให้ผู้ทดสอบเห็น เช่น จุดครากบน จุดครากล่าง ค่าแรงสูงสุด และนำไปใช้ในการคำนวณผลการทดสอบต่อไป



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการทดสอบแรงดึงที่เครื่องทดสอบเขียน

การบันทึกผลการทดสอบแรงดึงวัสดุโลหะ

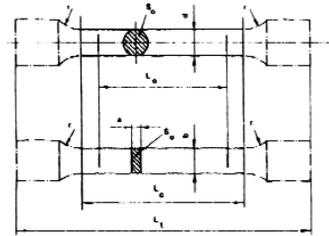
เป็นสิ่งที่ผู้ทดสอบต้องทำในการทดสอบ ดังนี้

1. ชื่อวัสดุตัวอย่าง และหมายเลขปฏิบัติการ (Lab No.)
2. ขนาดของชิ้นทดสอบ ผู้ทดสอบต้องวัดขนาดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องวัดที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่ามาตรฐานการทดสอบนั้น ๆ กำหนดด้วยเครื่องมือวัดละเอียดไมโครมิเตอร์ (micrometer) และเวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) สิ่งที่ต้องทดสอบต้องวัดมีดังนี้

2.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง (d) หรือความหนา (a) และความกว้าง (b) ช่วงความยาวพิคัด (gauge length) ของชิ้นทดสอบ เพื่อคำนวณหาพื้นที่ภาคตัดขวาง (S_0) (cross-section area)

2.2 รัศมีของบ่าชิ้นทดสอบ (r)

2.3 ความยาวพิคัด (L_0) ความยาวส่วนขนาน (L_g) ความยาวรวม (L)



ภาพที่ 4 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลมและสี่เหลี่ยมมุมฉาก

3. เครื่องมือ

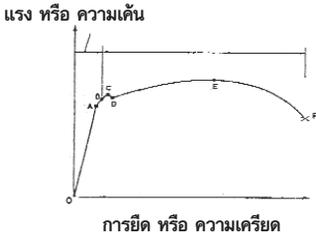
- 3.1 เครื่องทดสอบแรงดึง ระบุช่วงการใช้งาน
- 3.2 extensometer ระบุขนาดและความละเอียดของ extensometer
- 3.3 ไมโครมิเตอร์และเวอร์เนียคาลิเปอร์ ระบุขนาดและความละเอียดที่อ่านได้
4. สภาพแวดล้อมการทดสอบ อุณหภูมิ และความชื้นก่อนการทดสอบ ขณะทดสอบ และเมื่อทดสอบเสร็จ
5. ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

ก่อนการทดสอบทุกครั้งจะต้องเปิดเครื่องทดสอบแรงดึง เพื่อให้เครื่องทดสอบปรับสภาพก่อนการทดสอบ เมื่อเครื่องทดสอบปรับสภาพแล้วจึงนำชิ้นทดสอบที่วัดขนาดแล้วจับเข้ากับปากจับ (grip) ของเครื่องทดสอบแรงดึงทั้งปากจับด้านบนและด้านล่าง ต่อจากนั้นใส่แรง (pre-load) และป้อนภาระ (load) ตามพิคัดของมาตรฐานนั้น ๆ กำหนด บางมาตรฐานกำหนดเป็นระยะทางต่อเวลา เช่น มิลลิเมตร / นาที มิลลิเมตร / วินาที เป็นต้น แต่บางมาตรฐานกำหนดเป็นแรงต่อเวลา เช่น นิวตัน / นาที กิโลกรัมแรง / วินาที ปอนด์ / วินาที เป็นต้น ขณะที่ป้อนภาระผู้ทดสอบต้องบันทึกแรงและการยืดตัว

ให้เพิ่มภาระตามที่มาตรฐานกำหนดเข้าไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดคราก วัสดุโลหะส่วนมากจะมีจุดคราก แต่มีวัสดุโลหะบางชนิดจะไม่มีจุดคราก เช่น บรอนซ์ เหล็กหล่อ ซึ่งจุดครากมี 2 จุด คือจุดครากบน (upper yield point) และจุดครากล่าง (lower yield point) เมื่อเลยจุดคราก

แล้วแรงจะไม่ค่อยเพิ่มมากแต่ความยืดจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขั้นทดสอบจะยืดตัวไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงจะค่อย ๆ ตกลงขั้นทดสอบก็จะขาดจากกัน

ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะเห็นว่าเป็นไปตามทฤษฎีการยืดหยุ่น ตามกฎของฮุคซึ่งกล่าวว่าวัสดุมีสมบัติยืดหยุ่นและความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างกราฟการทดสอบความต้านแรงดึงของเหล็ก

ช่วง 0 ถึง A กราฟจะเป็นเส้นตรงซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุค เมื่อถึงจุด A กราฟจะเริ่มเปลี่ยนแปลงคือเริ่มไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า limit of proportionality

ช่วง A ถึง B เหล็กยังคงอยู่ในสภาพยืดหยุ่น ในลักษณะสภาพการยืดจะหดหายไปหมดเมื่อเอาแรงออก ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายที่เหล็กอยู่ในสภาพยืดหยุ่น และที่จุด B นี้เรียกว่า elastic limit

ช่วง B ถึง C เมื่อผ่านจุด B ไปแล้ว เหล็กจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (plastic deformation) เมื่อเอาแรงออกแล้วสภาพการยืดจะยังคงมีอยู่ซึ่งเรียกว่าเกิด permanent deformation หรือ permanent set และที่จุด C นี้เรียกว่าความเค้นครากบน (upper yield stress)

ช่วง C ถึง D การยืดตัวหรือความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่แรงหรือความเค้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือเกือบคงที่ และที่จุด D นี้มีชื่อเรียกว่าความเค้นครากล่าง (lower yield stress)

ช่วง D ถึง E กราฟจะโค้งและเมื่อเพิ่มแรงขึ้นจะทำให้การยืดตัวหรือความเครียดเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุด E ที่จุด E นี้เป็นแรงสูงสุด (maximum load) ที่ขั้นทดสอบได้รับในระหว่างการดึง

ช่วง E ถึง F กราฟจะโค้งลง ซึ่งเกิดจากพื้นที่ภาคตัดของขั้นทดสอบเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดเป็นคอคอด (neck) ขึ้นในช่วงสั้น ๆ โดยคอคอดนี้เกิดขึ้น ในขณะที่แรงลดลง และต่อมาขั้นทดสอบก็จะขาดออกจากกันที่จุด F

จากความสัมพันธ์ความเค้น - ความเครียด (แรง - การยืด) สามารถนำมาคำนวณหากำลังวัสดุได้ ดังนี้

☆ ความต้านแรงดึง (tensile strength) หรือความเค้นดึงสูงสุด (maximum tensile stress) หาค่าโดยการเอาแรงสูงสุดที่จุด E หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางเดิมของขั้นทดสอบ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปเรียกว่า ความต้านแรงดึง

☆ ความเค้นคราก (yield stress) มีอยู่ด้วยกันสองจุดคือความเค้นครากบนที่จุด C และความเค้นครากล่างที่จุด D ถ้าต้องการทราบความเค้นครากที่จุดใดก็เอาแรงที่จุดนั้น ๆ หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางเดิมของขั้นทดสอบในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะนำค่าความเค้นครากบนมาใช้

☆ ความยืด (elongation) หาค่าโดยการเอาความยาวพิกัด (gauge length) ที่เพิ่มขึ้นหารด้วยความยาวพิกัดเดิมคูณด้วยร้อย หน่วยที่ได้จะเป็นร้อยละของการยืดตัว

☆ มอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) หรือ Young's modulus (E) เป็นความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด ในช่วงกราฟเป็นเส้นตรง (linear) ถ้ากราฟไม่เป็นเส้นตรงให้เปรียบเทียบค่ามอดูลัสเส้นตัด (secant modulus) และค่ามอดูลัสเส้นสัมผัส (tangent modulus)

มอดูลัสยืดหยุ่น (E) หาค่าโดยความเค้น หาร ความเครียด

$$E = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

ผู้ใช้หรือวิศวกรที่ไม่มั่นใจในคุณภาพของวัสดุ โลหะว่าเป็นไปตามที่ระบุไว้ก็สามารถส่งขั้นทดสอบให้ห้องปฏิบัติการทดสอบได้ กรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยกลุ่มฟิลิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 2 โครงการฟิลิกส์และวิศวกรรมเป็นห้องปฏิบัติการทางกลกลางของประเทศที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025:2005 และเป็นหน่วยงานของทางราชการที่ให้บริการในการทดสอบคุณภาพของวัสดุโลหะให้กับหน่วยงานของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ บริษัท ห้างร้าน และบุคคลทั่วไป ผู้สนใจสามารถติดต่อขอใช้บริการได้ในวันและเวลาราชการ

เอกสารอ้างอิง

ชนะ กลีภรณ์ ความแข็งแรงของวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร : ชวนพิมพ์, 2536. หน้า 1-26

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า. มอก. 244 เล่ม 4 ถึง 7 - 2525. หน้า 2 - 7 และหน้า 17 - 28.