การทดสอบแรงบิด

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความสำคัญของแรงบิดต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรม
2. เพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้หลักการทดสอบแรงบิดและการหาค่าสมบัติที่เกี่ยวข้องต่างๆ ของวัสดุได้

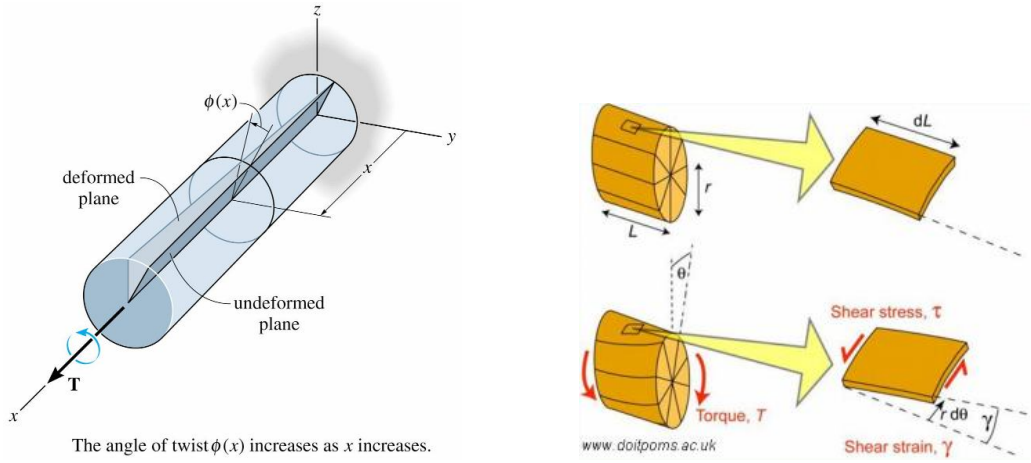
1. กล่าวนำ

ในทางวิศวกรรมมักพบชิ้นงานบางประเภทถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้แรงบิด เช่น การทำงานของเพลารถยนต์ในขณะขับเคลื่อน หัวเจาะน้ำมัน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการรับแรงของชิ้นงานและโครงสร้างทั่วไปทางวิศวกรรม อาทิ สะพาน ตัวถังของรถยนต์ เครื่องบิน เรือ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ก็มักตกอยู่ภายใต้การรับแรงบิดในขณะใช้งานได้เช่นกัน ดังนั้น วัสดุที่นำมาใช้สร้างชิ้นส่วนและโครงสร้างดังกล่าว นอกจากต้องมีสมบัติด้านความแข็งแรงที่ดีแล้ว ยังต้องมีความสามารถในการรับแรงบิดได้ดีไปพร้อมกันด้วย หากการออกแบบไม่ได้มาตรฐานหรือเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม ก็จะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้เมื่อใช้งาน ดังในรูปที่ 1 แสดงการแตกหักของเพลาอันเนื่องมาจากการรับแรงบิด การทดสอบแรงบิดจึงมีความสำคัญในการใช้ทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมบางประเภท โดยเฉพาะวัสดุจำพววัสดุเปราะ อาทิ เหล็กกล้าเครื่องมือ เหล็กทำเพลา เป็นต้น นอกจากนี้การทดสอบแรงบิดที่อุณหภูมิสูงยังใช้เป็นเครื่องมือวัดขีดความสามารถในการตีขึ้นรูป (Forgeability) อีกด้วย

โดยทั่วไปการบิดจะเกิดขึ้นเมื่อให้แรงบิด (Torque) หรือโมเมนต์บิด (Twisting moment) กับชิ้นงาน ทำให้วัสดุที่ทดสอบตกอยู่ภายใต้ภาระกรรมแบบ Pure shear การทดสอบวัสดุภายใต้แรงบิดจึงช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและความเครียดเฉือน อันนำไปสู่การได้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงแรงเฉือนสูงสุด (Ultimate torsional shearing strength หรือ Modulus of rupture) ค่าโมดูลัสแรงเฉือน (Shear modulus หรือ Modulus of rigidity) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความเปราะความเหนียวของวัสดุนั้นได้อีกด้วย

การทดสอบแรงบิดในปฏิบัติการนี้จะใช้ชิ้นงานทดสอบแบบหน้าตัดกลมเท่านั้น เนื่องจากการรับแรงบิดของหน้าตัดวงกลมจะเป็นไปตามสมมุติฐาน *“หน้าตัดไม่มีการบิดตัว หรือระนาบของหน้าตัดก่อนได้รับแรงกระทำยังคงอยู่ในระนาบเดิมหลังจากที่มีแรงกระทำ”* ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสมมุติฐานนี้จะไม่เป็นจริงกับวัสดุที่มีหน้าตัดเป็นรูปแบบอื่น

รูปที่ 1 ความเสียหายจากผลของแรงบิด (ซ้าย) เพลารถยนต์ (ขวา) เพลาเจาะ



รูปที่ 2 การบิดที่เกิดขึ้นในแท่งทรงกระบอกตัน

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

จากการที่เพลากลมตรงรัศมี R รับภาระกรรมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิดหรือทอร์ก T ค่าความเค้นเฉือน (Shear stress, τ) ที่เกิดขึ้นบนจุดใดๆ ที่ระยะรัศมี r ของหน้าตัดมีค่าเท่ากับ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \qquad (1)$$

เมื่อ r เป็นระยะตามแนวรัศมี และ J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงมุม (Polar moment of inertia) รอบจุดศูนย์กลาง โดยที่

$$J = \frac{\pi R^4}{2} \qquad (2)$$

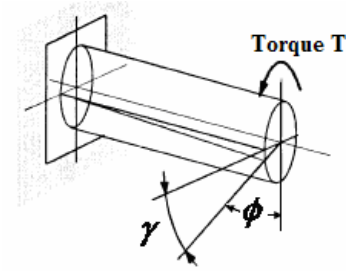
จากสมการที่ (1) จะพบว่าค่าความเค้นเฉือนมากที่สุดเกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของเพลา หรือที่ r=R สำหรับความเครียดเฉือนซึ่งเป็นการวัดมุมที่บิดไปจากมุมฉากเดิมของวัตถุ จากรูปที่ 3 จะได้ว่า

$$\gamma_{max} = \frac{R\phi}{L} \quad (3)$$

เมื่อ ϕ คือมุมที่บิดไป (หน่วยเรเดียน) ที่ระยะ L ของเพลา และจากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดจะได้ว่า $\tau = G\gamma$ เมื่อ G คือค่าโมลัสแรงเฉือน (Shear modulus) และจากสมการ (1) และ (3) สามารถเขียนความสัมพันธ์ของมุมบิดและแรงบิดในช่วงยืดหยุ่นได้เป็น

$$T = \frac{JG}{L}\phi \quad (4)$$

หากเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดและมุมบิดในช่วงยืดหยุ่น ก็จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ JG/L ดังนั้น หากทราบค่า L และ J ก็จะสามารถหาค่าโมลัสแรงเฉือนได้

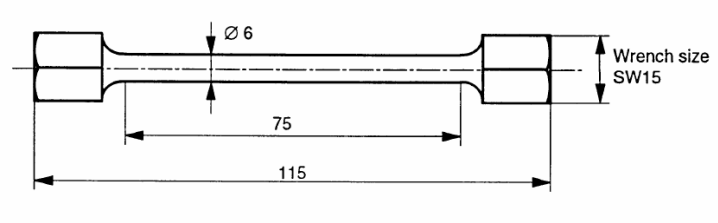


รูปที่ 3 เพลากลมตรงภายใต้การรับแรงบิด

3. การทดสอบ

3.1 ชิ้นงานทดสอบ

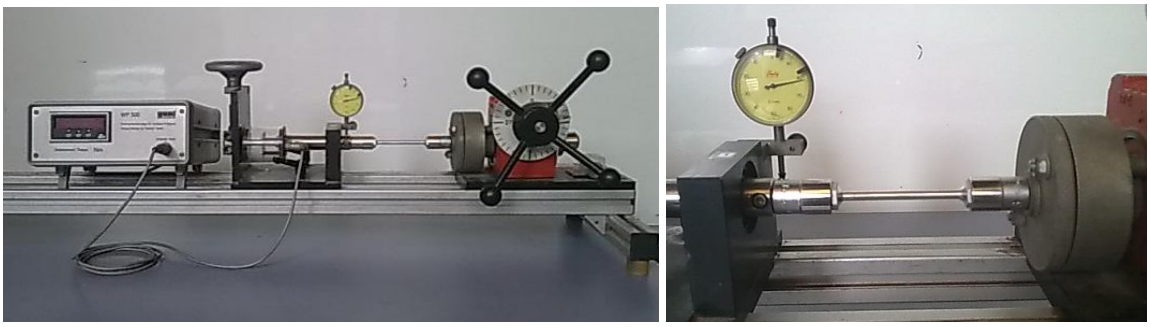
ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะและขนาดตามรูปที่ 4 โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นเหล็ก อะลูมิเนียมและทองเหลือง



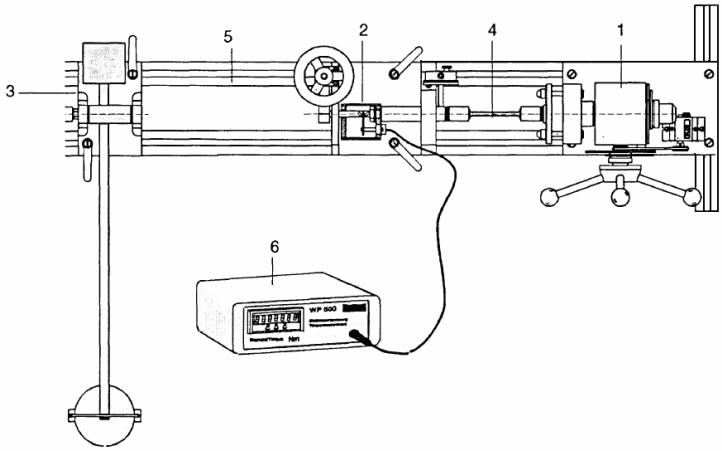
รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบ

3.2 เครื่องมือทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัท GUNT รุ่น WP 500 ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยเครื่องมือทดลองจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 (ซ้าย) เครื่องทดสอบแรงบิด (ขวา) การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 5.2 ภาพวาดส่วนประกอบเครื่องมือทดลอง (มุมมองด้านบน)

1) อุปกรณ์ให้แรงบิด
2) ชุดวัดแรงบิด
3) อุปกรณ์เปรียบวัดค่าแรงบิด
4) ชิ้นทดสอบ
5) รางเลื่อนปรับระยะและทำหน้าที่เป็นโครงรับน้ำหนัก
6) เครื่องแสดงค่าแรงบิด

รายละเอียดการทำงานของส่วนประกอบหลักเป็นดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ให้แรงบิด ประกอบด้วยคันหมุนต่อเข้ากับชุดเฟืองทดรอบ โดยที่คันหมุนมีเครื่องมือวัดมุมติดอยู่ เครื่องวัดมุมนี้จะแสดงค่ามุมที่หมุนไปของคันหมุนในอัตราส่วน 1:1 แกนหมุนของคันหมุนต่อเข้ากับชุดทดรอบในอัตราส่วน 1:62 แล้วส่งการหมุนต่อไปยังที่จับชิ้นงาน นั่นคือ ถ้าหมุนคันหมุน 1 รอบ ชิ้นงานจะหมุนไป 1/62 รอบ นอกจากนี้ ยังมีวงล้อส่งการหมุนด้วยสายพานไปยังเครื่องมือวัดรอบอีกชุดหนึ่งด้วย

ชุดวัดแรงบิด ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วนใหญ่ คือ ชุด Strain gage load cell และชุด Bridge meter ซึ่งผ่านการเปรียบวัดและแสดงค่าเป็นแรงบิดในหน่วย N-m สำหรับ Strain gage นั้นเป็นการต่อแบบ Full bridge (ดูรายละเอียดในเรื่อง Strain gage) เพื่อใช้วัดแรงบิด Torsion

ชุดปรับแก้ เนื่องจากทฤษฎีการบิดตัวของเพลานั้นอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ปลายด้านหนึ่งของเพลาถูกตรึงอยู่กับที่ แต่ในการทดลองนี้ได้มีการติดตั้ง Load cell ไว้ที่ปลายด้านดังกล่าวเพื่อใช้วัดแรงบิด เมื่อชิ้นงานบิดตัวไปโครงสร้างของ Load cell ก็จะบิดตัวตามไปด้วย ส่งผลให้ปลายด้านที่ติด Load cell ซึ่งควรตรึงอยู่กับที่มีการบิดตัวตามไปด้วย (ไม่เป็นไปตามสมมุติฐาน) ดังนั้น ในการทำการทดลองจึงต้องมีการปรับแก้ก่อนที่จะมีการอ่านค่า นั่นคือจะต้องติดตั้งชุดที่หาจุดอ้างอิงว่าจุดอ้างอิงของมุมบิดของ Load cell อยู่ที่ใด และเมื่อให้มุมบิดที่ปลายอีกหนึ่งแล้วต้องปรับปลายด้าน Load cell ให้บิดกลับมาอยู่ที่จุดอ้างอิงเสียก่อนจึงจะอ่านค่าได้ ชุดปรับแก้นี้ประกอบด้วย Dial gage และชุดให้แรงบิดอีกชุดหนึ่ง เมื่อฐานรองรับบิดตัวไปก็ให้แรงบิดกับชุดให้แรงบิดในทางตรงกันข้าม เพื่อดึงให้ฐานหมุนกลับมาอยู่ที่เดิมซึ่งสามารถดูได้จาก Dial gage

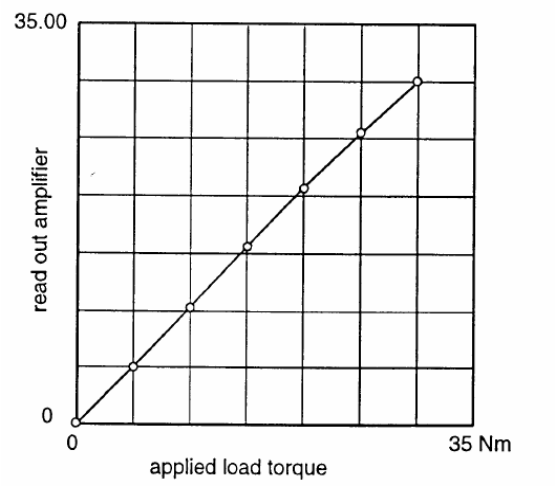
ชุดเปรียบวัดค่าแรงบิด แม้ว่าชุดวัดแรงบิดจะได้รับการเปรียบวัดมาจากโรงงานผู้ผลิต แต่ภายใต้สภาพการใช้งานไประยะหนึ่งจำเป็นต้องมีการเปรียบวัดค่าเสียก่อน โดยการเปรียบวัดค่านั้นก็ใช้หลักการให้แรงบิดที่ทราบค่าแน่นอนแก่ชุดวัดการบิด ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วยชุดหมุนที่ต่อกับคานยาว 0.5 m โดยมีชุดน้ำหนักไว้ถ่วงกับคานเพื่อสร้างแรงบิดที่ทราบค่าแน่นอน จากนั้นจึงพิจารณาว่าเครื่องมือวัดสามารถแสดงค่าแรงบิดได้ถูกต้องหรือไม่ โดยค่าที่ได้จากการเปรียบวัดนี้จะถูกนำไปใช้กับผลที่อ่านได้จากการทดลองเพื่อปรับค่าให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเปรียบวัดค่าแรงบิด ก่อนทำการทดลองทุกครั้งจะต้องมีการเปรียบวัดค่าแรงบิดตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งมีขั้นตอนต่อไปนี้

1) ประกอบชุดเปรียบวัดเข้ากับชุดเครื่องวัด ปรับคานให้อยู่ในแนวระดับ
2) เปิดสวิตซ์เครื่องอ่านค่าแรงบิด ตั้งค่าที่อ่านให้เป็นศูนย์โดยการกดแป้น $\boldsymbol{\tau}$ แช่ไว้แล้วกดแป้น P
3) เมื่อไม่มีการแขวนน้ำหนักใดๆ กับคาน เครื่องมือวัดควรอ่านค่าแรงบิดได้เป็นศูนย์
4) ถ่วงน้ำหนักขนาด 10 N ที่ปลายคาน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดเท่ากับ 5 N-m อ่านและบันทึกค่าที่เครื่องมือวัดแสดง
5) เพิ่มน้ำหนักและบันทึกค่าไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 30 N-m

จากการเปรียบวัดที่ได้ หากแรงบิดที่อ่านได้โดยเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับแรงบิดที่กระทำจริง แสดงว่าเครื่องมือวัดมีความถูกต้องน่าและไม่ต้องการการปรับแก้ไข แต่ถ้าหากได้ค่าไม่ตรงกันก็จำเป็นต้องหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดไว้ โดยอาจเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดจริง (applied load torque) กับค่าแรงบิดที่อ่านได้จากเครื่องวัด (read out amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งกราฟนี้จะต้องนำไปใช้ในภายหลัง



รูปที่ 6 แรงบิดที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดเทียบกับแรงบิดจริง

3.3.2 การทดลอง มีขั้นตอนในการติดตั้งชิ้นงานทดสอบและการทดลอง ดังนี้

1) ติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้าระหว่างเครื่องให้แรงบิดและเครื่องวัดแรงบิด โดยใช้ประแจขันให้แน่น
2) ปรับที่ปรับระยะของเครื่องให้แรงบิดให้อยู่ในตำแหน่งกลาง
3) ต้องแน่ใจว่าไม่มีการให้แรงบิดก่อนการทดลอง (preload) ถ้าจำเป็นอาจหมุนคันหมุนให้เครื่องวัดแรงบิดแสดงค่าศูนย์
4) ตั้งเครื่องวัดมุมทั้งของคันหมุนและของเพลาให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์
5) ตั้ง Dial gage บนชุดปรับแก้ให้อ่านค่าเป็นศูนย์
6) ตั้งค่าเครื่องนับรอบให้เป็นศูนย์
7) หมุนคันหมุนไปตามทิศเข็มนาฬิกาเพื่อให้แรงบิดกับชิ้นงานทดสอบ หมุนไปจนกระทั่งได้มุมหมุนตามที่กำหนดไว้ในตาราง ค่ามุมบิดจริงของชิ้นงานเป็น 1/62 ของมุมบิดของคันหมุน
8) ก่อนอ่านค่าที่เครื่องวัดให้ปรับที่หมุนของชุดปรับแก้เพื่อให้ Dial gage ชี้กลับมาอยู่ที่ศูนย์ตามเดิม
9) อ่านและบันทึกค่าแรงบิดที่เครื่องมือวัดแสดงผล
10) หมุนคันหมุนต่อไปเพื่อให้เกิดมุมบิดตามที่ต้องการในตาราง โดยทำตามขั้นตอนข้อ 7-9 จนกระทั่งชิ้นงานขาด
11) เมื่อชิ้นงานขาด เปลี่ยนวัสดุเป็นชนิดใหม่แล้วเริ่มการทดลองใหม่ ทำซ้ำจนครบทุกชิ้นทดสอบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

1) แสดงกราฟที่ได้จากการเปรียบวัดค่าแรงบิด (ดังตัวอย่างรูปที่ 6) และวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลของเครื่องมือวัด (กราฟที่ได้จะถูกนำไปใช้ปรับแก้ค่าแรงบิดที่วัดได้ในขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานจริง)
2) วาดภาพลักษณะหน้าตัดของการแตกหักของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด พร้อมอภิปรายผลว่าชิ้นทดสอบทั้งหมดมีลักษระการแตกหักที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
3) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ พร้อมทั้งอภิปรายผล
4) คำนวณหาค่าโมดูลัสของแรงเฉือน G ของวัสดุแต่ละชนิดที่ทดสอบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลในตำราเรียนเพื่อระบุว่าชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นนั้นน่าจะทำจากวัสดุชนิดใด

5. เอกสารอ้างอิง

1) คู่มืออุปกรณ์การทดลอง GUNT WP 500
2) Winslow, D., “Experiments with Construction Materials: A Laboratory Manual,” McGraw-Hill, 1990

ตารางบันทึกผลการทดลอง

มุมบิดคันหมุน (รอบ)	มุมบิดชิ้นงาน (รอบ) (1/62 รอบของมุมบิดคันหมุน)	มุมบิดชิ้นงาน (rad)	แรงบิด (N-m)		
			วัสดุชนิดที่ 1	วัสดุชนิดที่ 2	วัสดุชนิดที่ 3 .....
0.00					
0.25					
0.50					
0.75					
1.0					
1.5					
2.0					
2.5					
3.0					
4.0					

5.0					
6.0					
7.0					
8.0					
10					
15					
20					
25					
30					
40					
50					
60					
80					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					