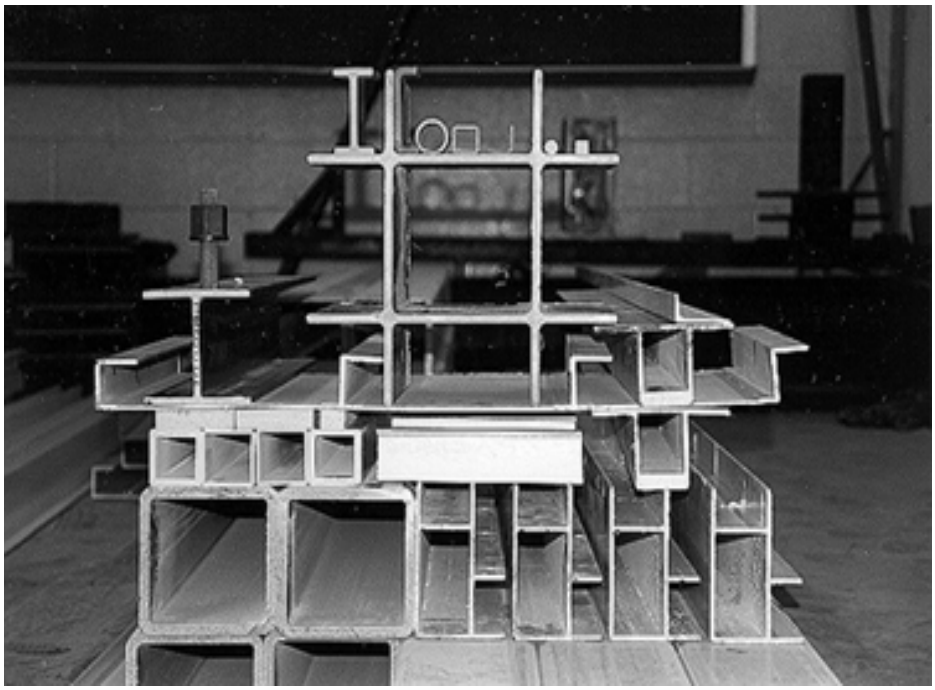


คู่มือปฏิบัติการทดสอบวัสดุ

Material Testings: Laboratory Manual

เรียบเรียงโดย

ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ธันวาคม 2544

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการทดสอบวัสดุเล่มนี้ ได้ถูกเรียบเรียงขึ้นมาด้วยจุดประสงค์ที่จะให้นักศึกษาใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและเป็นแนวทางในการศึกษาวิชา Material Testings ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะช่วยให้นักศึกษาได้เตรียมตัวมาเป็นอย่างดีก่อนเข้าทำปฏิบัติการ ซึ่งจะช่วยให้นักศึกษาเข้าใจในวัตถุประสงค์และเนื้อหาของการทดสอบในแต่ละปฏิบัติการได้ดีขึ้น สุดท้าย ถ้ามีส่วนใดที่ควรเปลี่ยนแปลง แก้ไข และปรับปรุง ช่วยกรุณาแจ้งให้ทราบด้วยจักขอบคุณมาก

ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ธันวาคม 2544

สารบัญ

ปฏิบัติการที่ 1	A. การตรวจสอบห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ (Inspection of Material Testing Laboratory)	1-1
	B. การติดตั้ง Strain Gage (Strain Gage Installation)	
ปฏิบัติการที่ 2	การทดสอบหาอัตราส่วนพัวซองของยาง (Poisson's Ratio of Rubber)	2-1
ปฏิบัติการที่ 3	การทดสอบแรงดึงของเหล็กและเหล็กหล่อ (Tension Test of Steel and Cast Iron)	3-1
ปฏิบัติการที่ 4	การทดสอบแรงบิดของเหล็กและเหล็กหล่อ (Torsion Test of Steel and Cast Iron)	4-1
ปฏิบัติการที่ 5	การทดสอบแรงกดอัดของไม้ในแนวขนานเสี้ยนและตั้งฉากกับเสี้ยน (Compression Test of Wood Parallel and Perpendicular to Grain)	5-1
ปฏิบัติการที่ 6	การทดสอบแรงกดอัด แรงดัด และการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา (Compression, Flexural, and Absorption Test of Bricks)	6-1
ปฏิบัติการที่ 7	การทดสอบแรงกดอัดและแรงดึงของคอนกรีต (Compression and Split Cylinder Test of Concrete)	7-1
ปฏิบัติการที่ 8	การทดสอบแรงดัดของไม้ (Flexural Test of Wood)	8-1
ปฏิบัติการที่ 9	การทดสอบแรงดัดของเหล็กและเหล็กหล่อ (Flexural Test of Steel and Cast Iron)	9-1
ปฏิบัติการที่ 10	การทดสอบแรงเฉือนของเหล็ก ทองแดง และอลูมิเนียม (Direct Shear Test of Steel, Copper, and Aluminum)	10-1
ปฏิบัติการที่ 11	การทดสอบแรงเฉือนของไม้ในแนวขนานเสี้ยน (Shear Test of Wood Parallel to Grain)	11-1
ปฏิบัติการที่ 12	การโก่งเดาะของเสาเหล็ก (Buckling of Steel Column)	12-1
ปฏิบัติการที่ 13	การทดสอบความล้าของอลูมิเนียม (Fatigue Test of Aluminum)	13-1

Laboratory Schedule

Group	M1, T1, W1	M2, T2, W2	M3, T3, W3	M4, T4, W4	M5, T5, W5	M6, T6, W6
Week 1	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Week 2	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
Week 3	**3**	**3**	**13**	**13**	**5**	**5**
Week 4	**6, 7**	**9**	**3**	**3**	**4**	**4**
Week 5	**10, 11**	**10, 11**	**9**	**9**	**6, 7**	**6, 7**
Week 6	**12**	**12**	**8**	**8**	**13**	**13**
Week 7	**13**	**8**	**6, 7**	**6, 7**	**3**	**3**
Week 8	**4**	**5**	**10, 11**	**10, 11**	**8**	**8**
Week 9	**5**	**4**	**12**	**12**	**9**	**9**
Week 10	**8**	**6, 7**	**4**	**4**	**10, 11**	**10, 11**
Week 11	**9**	**13**	**5**	**5**	**12**	**12**

ข้อกำหนดในการทำปฏิบัติการ

1. นักศึกษาจะต้องแต่งกายสุภาพ เรียบร้อย ในชุดทำปฏิบัติการ
2. นักศึกษาจะเข้าห้องปฏิบัติการช้าไม่เกิน 10 นาที
3. ห้ามนักศึกษาส่งเสียงดัง ทำการรบกวน หรือปฏิบัติใดๆ ที่ไม่เหมาะสมในระหว่างทำปฏิบัติการ
4. นักศึกษาจะต้องศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน และขั้นตอนการทำปฏิบัติการมาก่อนเข้าห้องปฏิบัติการ
5. นักศึกษาจะต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตราย ถ้าจำเป็น ในระหว่างทำปฏิบัติการ
6. นักศึกษาจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของอาจารย์และผู้ควบคุมปฏิบัติการอย่างเคร่งครัด
7. นักศึกษาจะต้องทำความสะอาดเครื่องมือทดสอบ และคืนอุปกรณ์ที่เบิกทุกชิ้นก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ
8. นักศึกษาจะต้องส่งรายงานภายใน 1 อาทิตย์ นับจากวันที่ทำการทดสอบที่ผู้ควบคุมปฏิบัติการ

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 1

Inspections of Material Testing Laboratory and

Stain Gage Installation

A. Inspections of Material Testing Laboratory

A.1. วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาได้มีความคุ้นเคยกับห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ และข้อแนะนำ ข้อควรระวัง และข้อกำหนดในการใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ

A.2. อุปกรณ์ที่ใช้

1. สมุดบันทึกและดินสอ
2. กล้องถ่ายรูป (ไม่บังคับ)

A.3. ขั้นตอน

1. เยี่ยมชมห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุภายใต้การดูแลของผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งเรียนรู้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ ข้อแนะนำ ข้อควรระวัง และข้อกำหนดในการใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ
2. จัดทำรายการของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัสดุต่างๆ และศึกษาวิธีการใช้เครื่องมืออย่างคร่าวๆ เช่น เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ใช้ในการทดสอบใดบ้าง และมีวิธีการใช้อย่างไร เป็นต้น

A.4. รายงาน

เขียนรายงานของปฏิบัติการนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เขียนข้อแนะนำ ข้อควรระวัง และข้อกำหนดในการใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ
2. เขียนและร่างรูปภาพแสดงรายละเอียดอย่างคร่าวๆของเครื่องมือต่างๆ ที่จะใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ
3. ตอบคำถามต่อไปนี้
   a.) What are the principal objectives in the testing of the engineering materials?
   b.) Discuss the relative merits of various types of the testing machines. What is the most common type of machine used in the testing of the engineering materials?
   c.) What item other than load is progressively observe for a specimen under test? What equipment is used to measure these observations?
   d.) What considerations are involved in the selection of materials for machines and structures?

B. Stain Gage Installation

B.1. วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาได้ทราบเข้าใจถึงหลักการในการติดตั้ง Strain gage เข้ากับวัสดุที่เป็นโลหะ และสามารถติดตั้ง Strain gage เพื่อใช้ในการทดสอบวัสดุได้

B.2. อุปกรณ์ที่ใช้

1. แท่งตัวอย่างทดสอบที่จะตั้ง Strain gage
2. Strain gage และ Terminal
3. Multimeter หรือ Ohmmeter
4. ชุดบัดกรีสายไฟ ซึ่งประกอบด้วยหัวแร้ง ลวดบัดกรี สายไฟฟ้า และคีมปลอกสายไฟฟ้า
5. ชุดติดตั้ง Strain gage ซึ่งประกอบด้วยน้ำยา Degreaser กระดาษทรายเบอร์ 220, 320, และ 400 น้ำยา Neutralizer น้ำยา Conditioner ดินสอและปากกาลูกลื่น ผ้าเช็ดแผล ไม้ปลายพันสำลี ไม้บรรทัด เทปใส น้ำยา Catalyst น้ำยา Coat และน้ำยา Adhesive

B.3. ขั้นตอนการติดตั้ง

Strain gage เป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดอ่อนมาก ซึ่งจะไวต่อข้อบกพร่องซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในการติดตั้ง ดังนั้นการติดตั้ง Stain gage จึงต้องใช้ความละเอียดรอบคอบเป็นอย่างยิ่งในรายละเอียดขั้นตอนในการติดตั้ง การกระทำที่ไม่ควรกระทำในขั้นตอนการติดตั้งคือ

1. จับหรือแตะพื้นผิวที่กำลังถูกเตรียมอยู่
2. นำผ้าซับ (Swab) หรือผ้าเช็ดแผล (Gauze sponge) ที่ถูกใช้ไปแล้วมาใช้อีก
3. นำสิ่งสกปรก (Contaminant) เช่น ฝุ่นและคราบน้ำมัน เป็นต้น จากพื้นที่อื่นๆมายังพื้นที่ที่ได้หรือที่กำลังทำความสะอาดอยู่
4. ทิ้งพื้นผิวที่ได้หรือที่กำลังทำความสะอาดอยู่ เป็นระยะเวลานานก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป

B.3.a. การเตรียมพื้นผิวที่จะติดตั้ง Strain gages

Strain gage สามารถที่จะนำมาติดตั้งอยู่บนวัสดุทางวิศวกรรมแทบทุกชนิด ถ้าพื้นผิวของวัสดุที่จะทำการติดตั้ง Strain gage มีการเตรียมพื้นผิวที่ถูกต้อง วัตถุประสงค์หลักในการเตรียมพื้นผิวของวัสดุคือ ต้องการที่จะปรับสภาพพื้นผิวให้มีความหยาบ (Roughness), สภาพทางเคมี, และความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่เหมาะสม นอกจากนั้นแล้ว เพื่อที่จะได้วางเส้นที่บอกตำแหน่งและทิศทางของ Strain gage ที่ถูกต้องและตรงจุดที่เราต้องการ

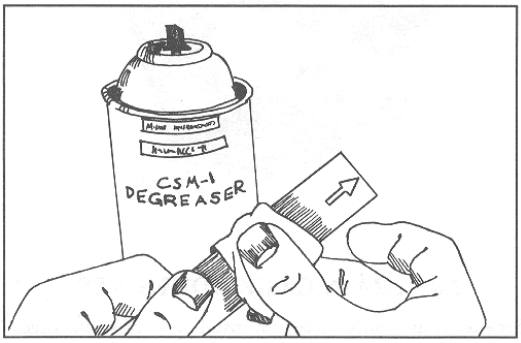
ขั้นตอนในการเตรียมพื้นผิวสำหรับ Aluminum alloys และ Steel มีดังต่อไปนี้

1. Degreasing
2. การขัดพื้นผิว (Surface abrading)
3. การวางตำแหน่งและทิศทางของ Strain gage (Application of gage layout lines)
4. การปรับสภาพพื้นผิวให้เหมาะสม (Surface conditioning)
5. การปรับสภาพพื้นผิวให้เป็นกลาง (Neutralizing)

1. Degreasing

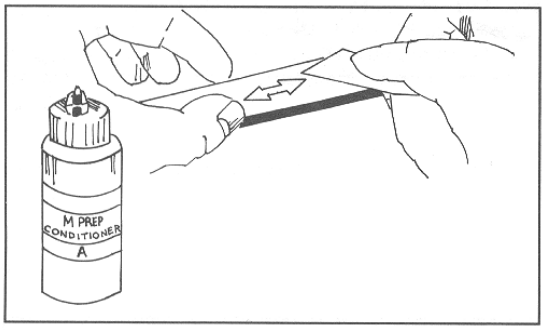
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มแรกในการเตรียมพื้นผิวที่จะติดตั้ง Strain gage และเป็นการชำระล้างสารต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นไขมัน (Grease), น้ำมัน (Oil), สารอินทรีย์ที่สกปรก (Organic contaminant), และ สารเคมีตกค้าง (Chemical

residue) ออกไปจากพื้นผิวของวัสดุที่กำลังจะติดตั้ง Strain gage โดยใช้ Degreaser พ่น (Spray) หรือใช้ผ้าเช็ดแผลจุ่ม Degreaser เช็ดที่บริเวณนั้น



2. การขัดพื้นผิว (Surface abrading)

ในขั้นตอนนี้พื้นผิวของตัวอย่างทดสอบ (Specimen) จะถูกขัดเพื่อที่จะขจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่ไม่ต้องการเช่น คราบปูน, คราบสนิม, และคราบสี เป็นต้น ออกจากพื้นผิวบริเวณที่จะติดตั้ง Strain gage และเพื่อที่จะเตรียมพื้นผิวให้มีลักษณะเหมาะสมที่กาว (Adhesive) จะยึดติด Strain gage กับพื้นผิวได้ดี



การขัดพื้นผิวจะเป็นการขัดพื้นผิวแบบเปียก จะเริ่มจากการเท Conditioner ลงในบริเวณที่จะเตรียมพื้นผิวติดตั้ง Strain gage เป็นปริมาณเล็กน้อย แล้วใช้กระดาษทราย (เบอร์ 320 สำหรับอลูมินั่ม หรือ เบอร์ 220 สำหรับเหล็ก) ขัดบนพื้นผิวบริเวณนั้น หลังจากนั้นถ้าเห็นว่าพื้นผิวค่อนข้างแห้งไป ก็เท Conditioner เพิ่ม ขัดจนกว่าที่พื้นผิวบริเวณที่ต้องการมีลักษณะมันวาว จากนั้นใช้ผ้าเช็ดแผลที่สะอาดเช็ดพื้นผิวบริเวณนั้นและรอบๆให้สะอาด การเช็ดจะเช็ดไปทางเดียวแล้วกลับด้านผ้าเช็ดแผล เช็ดอีกทีแล้วทิ้งเพื่อที่จะป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกทั้งหลายมาตกอยู่ในบริเวณที่กำลังถูกทำความสะอาด

กระทำขั้นตอนข้างต้นซ้ำอีกหนึ่งครั้งแต่ใช้กระดาษทรายเบอร์ 400 สำหรับอลูมินั่มหรือ เบอร์ 320 สำหรับเหล็ก

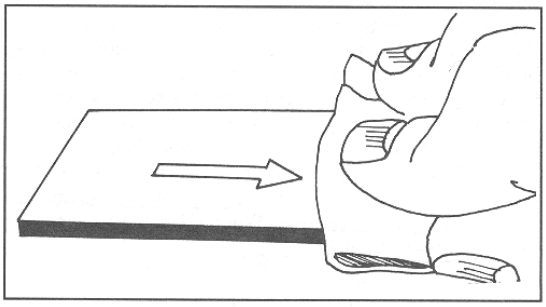
3. การวางตำแหน่งและทิศทางของ Strain gage (Application of gage layout lines)

ตำแหน่งและทิศทางของ Strain gage บนผิวของตัวอย่างทดสอบ จะถูกทำเครื่องหมายโดยใช้เส้นตรงสองเส้นที่ตัดกันเป็นมุม 90^o เป็นเส้นอ้างอิง เส้นทั้งสองนี้ควรจะมีขนาดที่ยาวพอสมควรและชัดเจน สำหรับอลูมินั่ม เส้นทั้งสองควรลากโดยใช้ดินสอที่แกนดินสอมีความแข็ง HB หรือ สำหรับเหล็ก เส้นทั้งสองควรลากโดยใช้ปากกาลูกลื่น

4. การปรับสภาพพื้นผิวให้เหมาะสม (Surface conditioning)

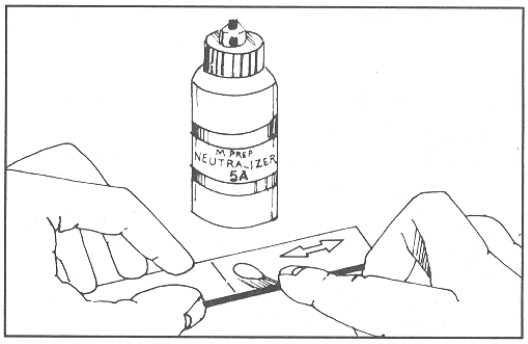
หลังจากที่เส้นอ้างอิงทั้งสองได้ถูกร่างไว้บนตัวอย่างทดสอบ สิ่งสกปรกจากไส้ดินสอหรือน้ำหมึกปากกาจะถูกทำความสะอาดออกไปโดยการ เท Conditioner ลงในบริเวณที่จะเตรียมพื้นผิวติดตั้ง Strain gage เป็นปริมาณเล็กน้อย แล้วใช้ไม้ปลายพันสำลี (Cotton-tipped applicator หรือ Cotton butt) ถูบริเวณนั้นจนกระทั่งสีของไส้ดินสอหรือน้ำหมึกปากกาไม่ปรากฏอยู่บนไม้ปลายพันสำลี

จากนั้น บริเวณดังกล่าวจะถูกทำให้แห้งอีกครั้งโดยการใช้ผ้าเช็ดแผลที่สะอาด เช็ดไปทางเดียวอย่างช้าๆอย่างน้อยอีกสองครั้ง



5. การปรับสภาพพื้นผิวให้เป็นกลาง (Neutralizing)

ขั้นตอนนี้กระทำเพื่อที่จะให้พื้นผิวที่จะติด Strain gage ให้มีความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่เหมาะสมในการติดตั้ง Stain gage ด้วยกาว โดยพื้นผิวจะถูกปรับสภาพพื้นผิวให้เป็นกลางโดยการเท Neutralizer ลงในบริเวณนั้นเป็นปริมาณเล็กน้อย แล้วใช้ไม้ปลายพันสำลีถู จากนั้น บริเวณดังกล่าวจะถูกทำให้แห้งอีกครั้งโดยการใช้ผ้าเช็ดแผลที่สะอาด เช็ดไปทางเดียวอย่างช้าๆอย่างน้อยอีกสองครั้ง



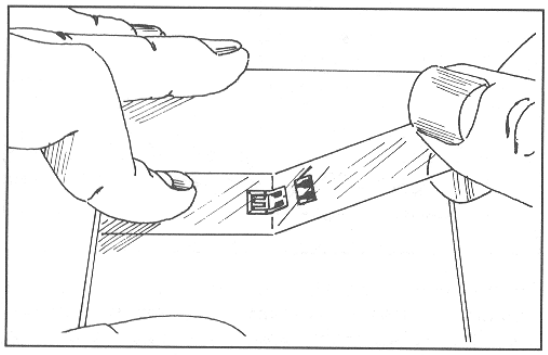
B.3.b. การติดตั้ง Strain gage

หลังจากที่ขั้นตอนที่หนึ่งได้เสร็จสิ้นลง ขั้นตอนการติดตั้ง Strain gage ควรที่จะกระทำภายใน 30 นาทีสำหรับอลูมินั่ม และ 45 นาทีสำหรับเหล็ก เพื่อที่จะได้สภาพพื้นที่ที่จะติดตั้ง Strain gage ที่เหมาะสม

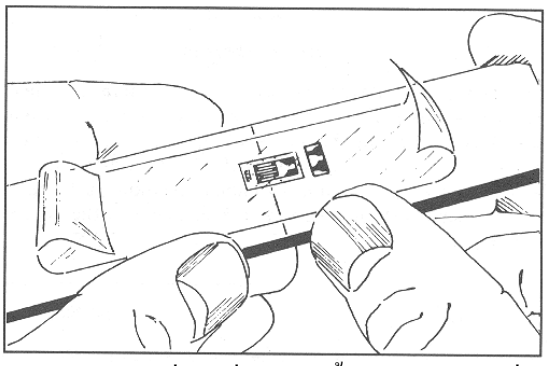
1. การเตรียม Strain gage ก่อนการติดตั้ง

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำ Stain gage ออกจากซองเก็บโดยใช้คีมขนาดเล็ก (Tweezer) จับที่ด้านข้างของ Strain gage (ไม่ควรที่จะใช้นิ้วมือจับที่ Strain gage โดยตรง) แล้ววาง Strain gage บนแผ่นกระจกหรือกล่องใส่ Strain gage ที่สะอาดโดยให้ด้านของ Strain gage ที่จะติดกาวคว่ำลง จากนั้นวาง Terminal (ถ้ามี) ให้ห่างจาก Strain gage เป็นระยะ 1.5 มม.

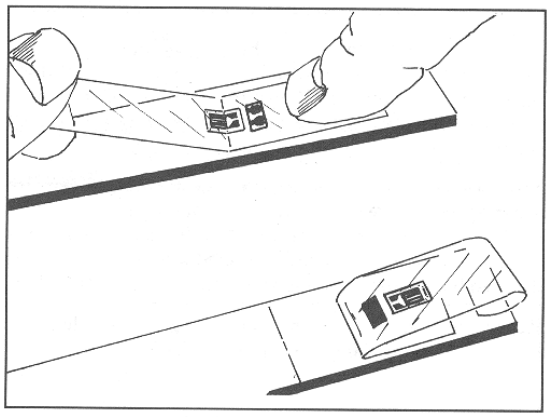
ตัด Cellophane tape ให้มีขนาดยาว 10-15 ซม. แล้วติดด้านหนึ่งของ Tape ไว้ทางด้านหลังของ Stain gage และ Terminal โดยกะให้ Tape ขนานไปกับ Stain gage และ Terminal ดังแสดงในรูป



จากนั้นทำการรูด Tape ให้ขนานไปกับ Stain gage และ Terminal อย่างช้าๆ จนทับทั่วทั้ง Stain gage และ Terminal จึงหยุด แล้วทำการยก Stain gage และ Terminal ที่ติดกับ Tape ขึ้นเพื่อนำไปติดกับตัวอย่างทดสอบ โดยการค่อยๆยก Tape ขึ้นเป็นมุม 30-45 องศากับแผ่นกระจกหรือกล่องใส่ Strain gage

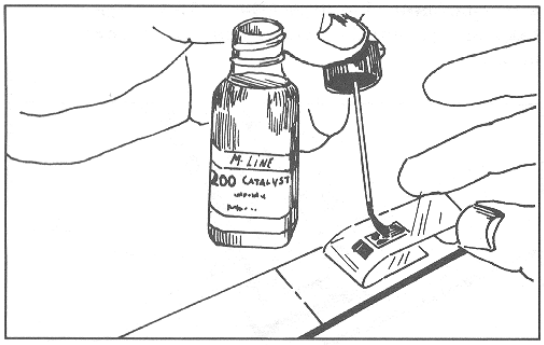


ในการวาง Stain gage ให้อยู่ในตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายนั้น เราจะวางให้เครื่องหมายที่อยู่บน Stain gage ตรงกับเครื่องหมายที่เราได้ทำไว้บนตัวอย่างทดสอบ จากนั้นรูดปลาย Tape ด้าน Terminal ให้ติดแน่นกับตัวอย่าง ส่วนปลายอีกข้างให้ยกกลับมาในลักษณะที่แสดงตามรูป



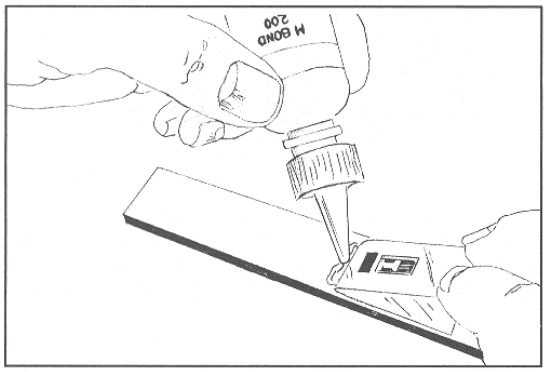
2 การติด Strain gage ด้วยกาว

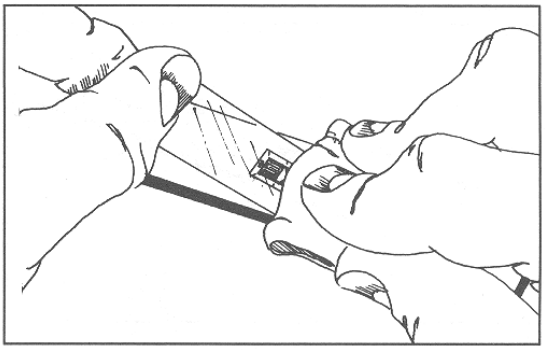
ก่อนที่จะป้ายน้ำยา Catalyst ลงบนตัว Stain gage และ Terminal แปรงที่จุ่ม Catalyst จะต้องป้ายไปบนปากขวดน้ำยาก่อนประมาณ 10 ครั้ง เพื่อที่จะลดปริมาณน้ำยาบนขนแปรงลงให้พอเหมาะ การป้ายจะมีลักษณะการป้ายที่บางๆและหนาอย่างสม่ำเสมอลงบนตัว Stain gage และ Terminal โดยการเลื่อนแปรงไปตามตัว Stain gage และ Terminal



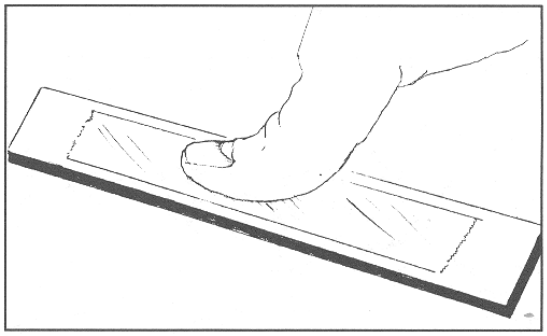
ขั้นตอนต่อไปนี้จำเป็นที่จะต้องทำให้เสร็จภายใน 3-5 วินาที

ยก Tape ด้านที่ถูกงอปลายขึ้นดังแสดงในรูป จับปลาย Tape ให้แน่นแล้วหยดกาวหนึ่งถึงสองหยด ลงตรงจุดที่ห่างจากรอยต่อระหว่าง Tape กับตัวอย่างทดสอบ ซึ่งห่างจากตัว Terminal เป็นระยะ 1.2 ซม. จากนั้นหมุนปลาย Tape กลับมาอีกทางหนึ่งทำมุมประมาณ 30 องศากับพื้นผิวตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูป โดยดึง Tape ให้ตึงเล็กน้อย แล้วใช้ผ้าพันแผลรูดไปบนตัว Tape โดยให้เครื่องหมายที่เราทำไว้บนตัวอย่างทดสอบตรงกับเครื่องหมายที่อยู่บน Strain gage การรูดเราจะทำจากด้านปลายที่ทากาวไปยังด้านที่เราจับปลาย Tape อย่างช้าและใช้แรงกดด้วย เสร็จแล้วปล่อยปลาย Tape ออก

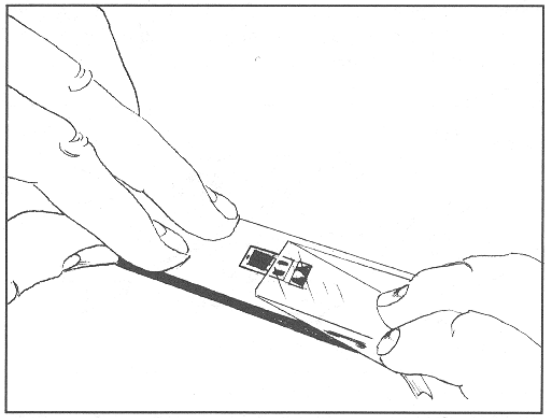




ทันทีที่เสร็จขั้นตอนที่แล้ว ให้เอาหัวนิ้วมือแม่โป้งกดลงบน Strain gage และ Terminal อย่างแรงเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาทีเพื่อให้กาวแห้งดีก่อนที่จะลอก Tape ออกจาก Strain gage และ Terminal



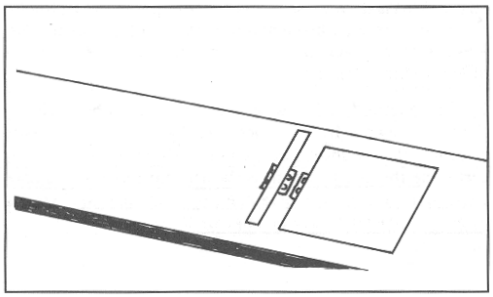
การลอก Tape ออกนั้น เราจะดึง Tape ออกในลักษณะที่แสดงตามรูปอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ



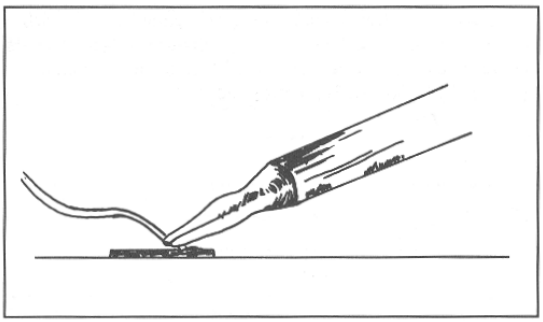
B.3.c. การบัดกรีสายไฟเข้ากับ Strain gage

ก่อนที่จะทำการบัดกรี ให้นำ Tape มาติดทับอยู่บนตัว Strain gage และ Terminal ให้ส่วนที่จะทำการบัดกรีโผล่ออกมาเท่านั้น หลังจากที่หัวบัดกรีมีอุณหภูมิที่พอเหมาะเราควรที่จะทำความสะอาดหัวบัดกรีโดยใช้ผ้าพันแผล จากนั้นให้วางปลายตะกั่วที่จะใช้เชื่อมลงตรงจุดที่เราจะเชื่อมบนตัว Terminal กดปลายหัวเชื่อมลงที่จุดดังกล่าวเป็นเวลา 1 วินาทีแล้วยกทั้งหัวและลวดบักกรีขึ้นในเวลาเดียวกัน ถ้าเราบัดกรีอย่างถูกต้องส่วนของลวดบักกรีที่ละลายติดอยู่บนจุดที่เราจะเชื่อมควรมีลักษณะเรียบและเป็นมันวาว ทำซ้ำตรงจุดอื่นๆที่เราจะบัดกรี

ต่อไป เราจะบัดกรีขาของ Strain gage ให้ติดกับ Terminal โดยให้ขาของ Strain gage มีลักษณะงอโค้งเล็กน้อย เพื่อที่ว่าขณะที่เราทดสอบตัวอย่างทดสอบ ขาของ Strain gage จะไม่ถูกกระทำโดยแรงซึ่งจะมีผลกระทบต่อความถูกต้องของการทดลอง

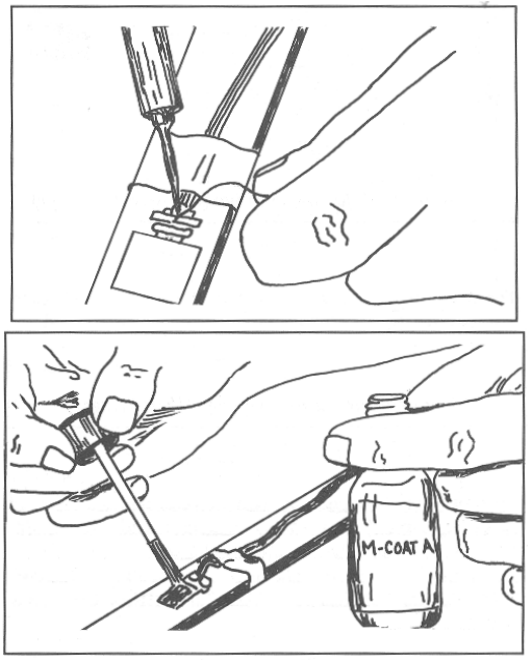


สายไฟที่จะใช้บัดกรีเข้ากับ Terminal ต้องถูกปลอกฉนวนหุ้มออกเป็นระยะประมาณ 1.2 ซม. โดยการใช้หัวบัดกรีที่ร้อนพอควรละลายฉนวนหุ้มออกตรงจุดที่เรากะไว้ แล้วดึงส่วนฉนวนหุ้มที่เราไม่ต้องการออก ข้อสำคัญอย่าใช้มีดปลอกฉนวนหุ้มออกเพราะจะทำให้เส้นลวดสายไฟบางส่วนขาด จากนั้นเส้นลวดสายไฟจะถูกนำมาบัดกรีให้มีส่วนของลวดบักกรีที่ละลายติดอยู่ ตัดส่วนนั้นออกให้มีความยาวเหลืออยู่ 3 มม. ต่อไปก็นำสายไฟมายึดติดกับตัวอย่างทดสอบโดยกะระยะให้ปลายส่วนที่จะใช้บัดกรีอยู่ตรงตำแหน่งที่ต้องการแล้วติดกระดาษกาวให้แน่น



จากนั้นก็ทำการบัดกรีส่วนของสายไฟดังกล่าวเข้ากับ Terminal ระวังอย่างให้การบัดกรีไปทำให้ขาของ Strain gage ที่บัดกรีไว้หลุดออกจากตัว Terminal แล้วทำการตรวจสอบดูว่าการบัดกรีสมบูรณ์หรือไม่โดยใช้ Ohmmeter ตรวจสอบการ

รั่วของกระแสไฟฟ้า สุดท้ายเราจะ Coat ตรง Strain gage และ Terminal เพื่อป้องกัน Strain gage และ Terminal จากความชื้นและสารเคมีต่างๆ



B.4 รายงาน

เขียนสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากปฏิบัติการนี้ เทคนิคที่ได้และข้อบกพร่องที่ควรจะมีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 2

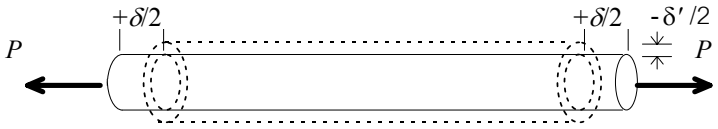
Poisson's Ratio of Rubber

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมทางกล (Mechanical Behavior) และคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของยาง (Rubber) ซึ่งประกอบด้วย Poisson's Ratio, ความสัมพันธ์ของ stress และ strain, และ modulus of elasticity
2. เพื่อให้มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัดระยะต่างๆ เช่น veneer caliper และ micrometer เป็นต้น และสามารถวางแผนการทดสอบได้

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

เมื่อแท่งวัตถุซึ่งทำจากวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างได้ (Deformable material) เช่น ยางและเหล็กโครงสร้าง เป็นต้น ถูกกระทำโดยแรงดึง (Tensile force) ตามแนวแกนผ่านจุด Centroid ของหน้าตัดของแท่งวัตถุแล้ว แท่งวัตถุจะเกิดการยืดตัวไปตามแนวแกน (Longitudinal elongation) ให้มีค่าเป็น $+\delta$ และจะเกิดการหดตัวทางขวาง (Lateral contraction) ให้มีค่าเป็น $-\delta'$ ตามที่แสดงในรูปที่ 1 ดังนั้น ในกรณีที่แท่งวัสดุถูกกระทำโดยแรงดึง ค่าความเครียด (Strain) ในแนวแกนจะมีค่าเท่ากับ, $\varepsilon_{long} = \dfrac{\delta}{L_o}$ และค่า Strain ทางขวาง, $\varepsilon_{lat} = -\dfrac{\delta'}{L_o}$ โดยที่ L_o คือความยาวเริ่มต้นของแท่งวัสดุ



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแท่งวัสดุที่ถูกกระทำโดยแรงดึง

ในช่วงต้นคริสตศักราช 1800, S.D. Poisson ได้ค้นพบหลักความจริงที่ว่า ในช่วงที่วัสดุมีพฤติกรรมแบบ Linear elastic นั้น อัตราส่วนระหว่าง ε_{lat} และ ε_{long} จะมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุซึ่งถูกเรียกว่า Poisson's ratio

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}}$$

ค่า Poisson's ratio ของวัสดุในทางวิศวกรรมจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.25 - 0.33 ในทางทฤษฎีแล้ว ค่า Poisson's ratio จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 ค่า Poisson's ratio จะมีค่าน้อยกว่า 0 ไม่ได้เนื่องจากว่า เมื่อค่า Poisson's ratio มีค่าน้อยกว่า 0 แล้วแท่งวัสดุที่ถูกกระทำโดยแรงดึงจะเกิดการยืดตัวทั้งในแนวแกนและทางขวาง หรือถ้าแท่งวัสดุที่ถูกกระทำโดยแรงอัดจะเกิดการหดตัวทั้งในแนวแกนและทางขวาง ซึ่งขัดกับหลักความเป็นจริง ส่วนในอีกกรณีหนึ่ง ค่า Poisson's ratio จะมีค่ามากกว่า 0.5 ไม่ได้นั้นจะสามารถพิสูจน์ได้ดังต่อไปนี้

พิจารณา Volume element ที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งถูกตัดออกมาจากแท่งวัตถุที่ถูกกระทำโดยแรงดึง ดังที่แสดงในรูปที่ 2

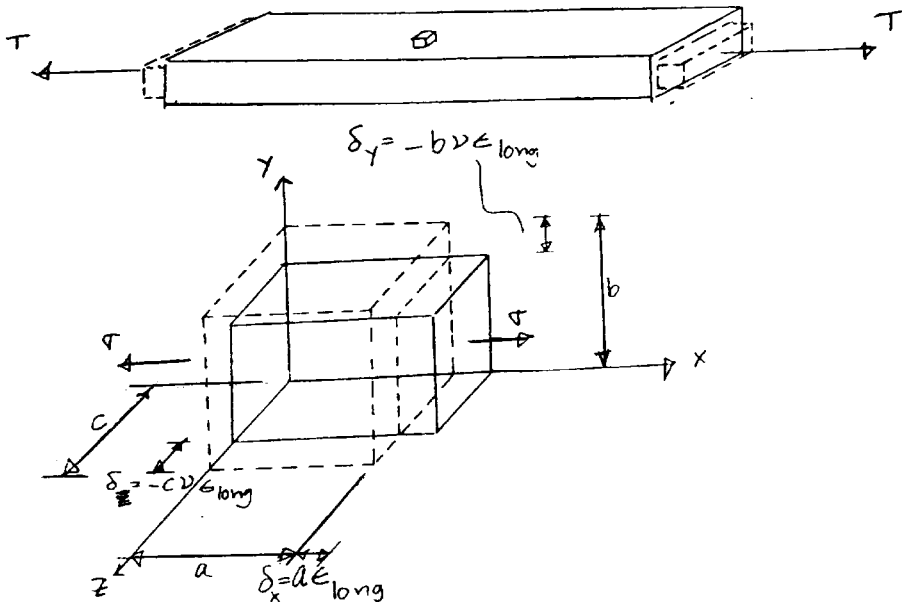
กำหนดให้ก่อนที่แท่งวัตถุจะถูกกระทำโดยแรงดึง T ความยาวของด้านต่างๆของ Volume element ในแนวแกน x แกน y และแกน z มีค่าเป็น a , b , และ c ตามลำดับ ดังนั้น ปริมาตรเริ่มต้นของ Volume element V_o จะมีค่าเท่ากับ abc

หลังจากที่แท่งวัสดุถูกกระทำโดยแรงดึง T แล้ว ความยาวของด้านต่างๆของ Volume element ในแนวแกน x แกน y และแกน z มีค่าเป็น $a(1+\varepsilon_{long})$, $b(1-\nu\varepsilon_{long})$, และ $c(1-\nu\varepsilon_{long})$ ตามลำดับ ดังนั้น ปริมาตรของ Volume element V_f จะมีค่าเท่ากับ

$$abc\,[(1+\varepsilon_{long})(1-\nu\varepsilon_{long})(1-\nu\varepsilon_{long})]$$

ในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ 1 แล้ว เทอม V_f จะถูกลดรูปลงได้เป็น

$$V_f = V_o\,[1 + \varepsilon_{long} - 2\nu\varepsilon_{long}]$$



รูปที่ 2 แท่งวัสดุที่ถูกกระทำโดยแรงดึง และ Volume element

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ Volume element หรือ $\Delta V = V_f - V_o$ จะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta V = V_o\,\varepsilon_{long}\,[1 - 2\nu]$$

และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ Volume element ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรหรือ Dilatation, e , จะอยู่ในรูป

$$e = \frac{\Delta V}{V_o} = \varepsilon_{long}\,[1 - 2\nu]$$

ในกรณีที่วัสดุมีพฤติกรรมอยู่ในช่วง Linear-elastic ภายใต้แรงกระทำ จาก Hooke's law, $\sigma = E\varepsilon$, เราจะได้ว่า

$$e = \frac{\sigma}{\varepsilon}\,[1 - 2\nu]$$

จากสมการ เราจะเห็นได้ว่า ถ้า ν มีค่ามากกว่า 0.5 แล้วค่า e จะมีค่าเป็นลบ หรือปริมาตรของ Volume element มีค่าลดลงเมื่อแท่งวัสดุถูกกระทำโดยแรงดึง ซึ่งเป็นไปไม่ได้ทางกายภาพ

3. อุปกรณ์ที่ใช้

1. แผ่นยาง
2. Veneer caliper และ micrometer
3. ไม้บรรทัดเหล็ก
4. ชุดทดสอบ Poisson's ratio และตุ้มน้ำหนัก

4. ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดจุด 3 จุดบนแผ่นยางตัวอย่างทดสอบและทำเครื่องหมายไว้ โดยให้แต่ละจุดมีระยะห่างกันประมาณ 5-8 ซม. และจุดแต่ละจุดควรห่างจากปลายทั้งสองข้างของแผ่นยางตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 10 ซม.
2. ทำการวัดค่าความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นยางตามจุดที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้ Veneer caliper และ micrometer และบันทึกค่าที่วัดเพื่อหาค่าเฉลี่ย
3. แขวนแผ่นยางกับชุดทดสอบ Poisson's ratio โดยให้แผ่นยางอยู่ในแนวดิ่ง
4. ทำการเพิ่มแรงโดยการแขวนตุ้มน้ำหนักบนแผ่นยาง 5 N แล้วทำการวัดค่าความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นยางตามจุดที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้ Veneer caliper และ micrometer และบันทึกค่าที่วัดเพื่อหาค่าเฉลี่ย
5. ทำการทดสอบตามข้อ 4. อย่างน้อยอีก 7 ครั้ง

5. ผลการทดสอบ

แรงกระทำ (T)	ความยาว L_x (mm)	ความกว้าง L_y (mm)	ความหนา L_z (mm)	Stress σ (MPa)	$\varepsilon_{long,x}$ (mm/mm)	$\varepsilon_{lat,y}$ (mm/mm)	$\varepsilon_{lat,z}$ (mm/mm)	ν_{xy}	ν_{xz}

6. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

1. หาค่า strain $\varepsilon_{long,x}$, $\varepsilon_{lat,y}$ และ $\varepsilon_{lat,z}$
2. หาค่า ν_{xy} และ ν_{xz} โดยที่ $\nu_{xy} = -\dfrac{\varepsilon_{lat,y}}{\varepsilon_{long,x}}$ และ $\nu_{xz} = -\dfrac{\varepsilon_{lat,z}}{\varepsilon_{long,x}}$ และหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ν_{xy} และ ν_{xz}

3. คำนวณหาค่า stress และเขียน stress-strain curve ของ stress และ $\varepsilon_{long,x}$
4. หาค่า modulus of elasticity ของแผ่นยาง
5. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 3

Tension Test of Steel and Cast Iron

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) และคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของเหล็กกล้า (steel) และเหล็กหล่อ (cast iron) ภายใต้การกระทำของแรงดึง (tension load) ซึ่งประกอบด้วย
    a. Proportional limit, σ_{pl}
    b. Yielding stress, σ_y
    c. Ultimate stress, σ_u
    d. Fracture stress, σ_f
    e. Percent of elongation
    f. Percent of area reduction
    g. Modulus of elasticity, E
    h. Modulus of resilience, u_r
    i. Mode of failure
2. เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงการทดสอบแรงดึงแบบ load-controlling test และ displacement-controlling test

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM E8
2. คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (GUNT WP 300)

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานทำด้วยเหล็กโครงสร้าง (structural steel) และเหล็กหล่อ (cast iron)

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Dial gauge
3. Veneer caliper และ Micrometer

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ (d_o) เพื่อหาค่าพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ (A_o)
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบให้แน่นหนา ตามคู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine และวัดค่าความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ (gauge-length) (L_o)
3. ปรับตั้ง dial gauge ให้มีระยะวัดสูงสุดเท่าที่จะทำได้ แล้วปรับค่า dial gauge และมาตรวัดแรงดึงไปที่ศูนย์

4. ทำการเพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบโดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างทดสอบ ถ้าตัวอย่างทดสอบเป็นเหล็กเหนียวเราจะทำการทดสอบแรงดึงทั้งแบบ load control และแบบ displacement control แต่ถ้าตัวอย่างทดสอบเป็นเหล็กหล่อเราจะทำการทดสอบแรงดึงแบบ load control เท่านั้น
    4.1 กรณีเหล็กเหนียว: ทำการเพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ ที่ละ 0.5 kN แล้วอ่านระยะยืดตัว (δ) จาก dial gauge และทำการบันทึกค่าของแรงดึงและระยะยืดตัว จากนั้น ทำการเพิ่มแรงดึงต่อไปอีกครั้งละ 0.5 kN อ่านระยะยืดตัว และจดบันทึกค่าของแรงดึงและระยะยืดตัว จนตัวอย่างเกิดการ yielding เมื่อตัวอย่างทดสอบเกิดการ yielding เราจะใช้ค่าระยะยืดเป็นตัวกำหนด โดยทำการเพิ่มระยะยืดตัวครั้งละ 0.10 ถึง 0.15 mm แล้วอ่านค่าแรง และทำการบันทึกค่าของแรงดึงและระยะยืดตัว จากนั้น ทำการเพิ่มระยะยืด อ่านค่าแรง และทำการบันทึกข้อมูล จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงดึงที่จุดวิบัติ
    4.2 กรณีของเหล็กหล่อ: ทำการเพิ่มแรงดึงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ ที่ละ 0.5 kN แล้วอ่านระยะยืดตัว (δ) จาก dial gauge และทำการบันทึกค่าของแรงดึงและระยะยืดตัว จากนั้น ทำการเพิ่มแรงดึงต่อไปที่ละ 0.5 kN อ่านระยะยืดตัว และจดบันทึกค่าของแรงดึงและระยะยืดตัว จนตัวอย่างเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงดึงที่จุดวิบัติ
5. เมื่อตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกหัก ทำการปรับหัวจับตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งชิ้นส่วนทั้งสองของตัวอย่างทดสอบต่อกันสนิท จากนั้น ทำการวัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบที่จุดวิบัติ (A_f) และค่าความยาวของตัวอย่างทดสอบเมื่อวิบัติ (L_f) สุดท้าย นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

<u>ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบ tension และตัวอย่างทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ</u>

6. ผลการทดสอบ

Specimen No. 1

ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ, L_o (mm) ________________________________

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ, d_o (mm) ________________________________

พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น, $A_o = \pi d_o^2 / 4$ (mm^2) ________________________________

ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบที่ลดลงที่จุดวิบัติ, d_f (mm) ________________________________

แรงดึง, F (kN)	ระยะยืดตัว, δ (1/100 mm)	Stress, σ (MPa)	Strain, ε ($\mu\varepsilon$)

Specimen No. 2

ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ, L_o (mm) ______________________________

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบ, d_o (mm) ______________________________

พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น, $A_o = \pi d_o^2 / 4$ (mm^2) ______________________________

ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบที่ลดลงที่จุดวิบัติ, d_f (mm) ______________________________

แรงดึง, F (kN)	ระยะยืดตัว, δ (1/100 mm)	Stress, σ (MPa)	Strain, ε ($\mu\varepsilon$)

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

7. ตารางสรุปผลการทดสอบ

	Specimen No. 1 ……..	Specimen No. 2 ……..
พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น, $A_o = \pi d_o^2 / 4$ (mm^2)		
พื้นที่หน้าตัดที่จุดวิบัติ, $A_f = \pi d_f^2 / 4$ (mm^2)		
Proportional limit, σ_{pl} (MPa)		
Upper yielding stress (MPa)		
Lower yielding stress (MPa)		
0.2% offset yielding stress (MPa)		
Ultimate stress, σ_u (MPa)		
Fracture stress, σ_f (MPa)		
Percent of elongation, $\frac{L_f - L_o}{L_o}(100)$ (%)		
Percent of area reduction, $\frac{A_f - A_o}{A_o}(100)$ (%)		
Modulus of elasticity, E (GPa)		
Modulus of resilience, $u_r = \sigma_{pl}^2 / 2E$ (MJ/m^3)		
Modes of failure		

8. วิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

วิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของ stress และ strain ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐาน

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 4

Torsion Test of Steel and Cast Iron

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) และคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของเหล็กกล้า (steel) และเหล็กหล่อ (cast iron) ภายใต้การกระทำของแรงบิด (torque) ซึ่งประกอบด้วย

1. Shearing stress at proportional limit, τ_{pl}
2. 0.1% offset yielding shearing stress, τ_y
3. Ultimate shearing stress, τ_u
4. Fracture shearing stress, τ_f
5. Shear modulus of elasticity หรือ Modulus of rigidity, G
6. Modes of failure

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM E143
2. คู่มือเครื่องทดสอบแรงบิด GUNT WP 500

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานทำด้วยเหล็กและเหล็กหล่อ

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบแรงบิด
2. Veneer caliper และ Micrometer

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ย
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบให้แน่นหนา ตามคู่มือเครื่องทดสอบแรงบิด GUNT WP 500
3. ปรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดมุมของมือหมุนและเพลา จาก dial gauge บนชุดปรับแก้ จากเครื่องนับรอบการหมุนของมือหมุน และจากเครื่องแสดงค่าแรงบิดไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงบิดให้กับตัวอย่างทดสอบ โดยการหมุนมือหมุนอย่างช้าๆ จนกระทั่งจำนวนรอบของการหมุนมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนด แล้วทำการบันทึกค่าของแรงบิด (มุมบิดจะมีค่าเป็น 1/62 คูณจำนวนรอบที่หมุนมือหมุน) จากนั้น ทำการเพิ่มแรงบิดและจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ต่อไป จนตัวอย่างเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงบิดที่จุดวิบัติ
5. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบ torsion และตัวอย่างทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ผลการทดสอบ

Specimen No. 1

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ, $d = 2c$ (mm) ____________________

Gauge length, L (mm) ____________________

Polar moment of inertia, $J = \pi c^4 / 2$ (mm^4) ____________________

แรงบิดที่ proportional limit, T_{pl} (N-m) ____________________

แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) (N-m) ____________________

มุมบิดสูงสุด (Maximum angle of twist) (radian) ____________________

จำนวนรอบของมือหมุน	มุมบิด, ϕ (radian)	แรงบิด, T (N-m)	Shearing stress, $\tau = Tc / J$ (MPa)	Shearing strain, $\gamma = c\phi/L$ (radian)

<u>Specimen No. 2</u>

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ, $d = 2c$ (mm) ______________________________

Gauge length, L (mm) ______________________________

Polar moment of inertia, $J = \pi c^4 / 2$ (mm^4) ______________________________

แรงบิดที่ proportional limit, T_{pl} (N-m) ______________________________

แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) (N-m) ______________________________

มุมบิดสูงสุด (Maximum angle of twist) (radian) ______________________________

จำนวนรอบของมือหมุน	มุมบิด, ϕ (radian)	แรงบิด, T (N-m)	Shearing stress, $\tau = Tc / J$ (MPa)	Shearing strain, $\gamma = c\phi / L$ (radian)

Specimen No. 3

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ, $d = 2c$ (mm) ______________________

Gauge length, L (mm) ______________________

Polar moment of inertia, $J = \pi c^4 / 2$ (mm^4) ______________________

แรงบิดที่ proportional limit, T_{pl} (N-m) ______________________

แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) (N-m) ______________________

มุมบิดสูงสุด (Maximum angle of twist) (radian) ______________________

จำนวนรอบของมือหมุน	มุมบิด, ϕ (radian)	แรงบิด, T (N-m)	Shearing stress, $\tau = Tc / J$ (MPa)	Shearing strain, $\gamma = c\phi/L$ (radian)

Specimen No. 4

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ, $d = 2c$ (mm) ____________________

Gauge length, L (mm) ____________________

Polar moment of inertia, $J = \pi c^4 / 2$ (mm^4) ____________________

แรงบิดที่ proportional limit, T_{pl} (N-m) ____________________

แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) (N-m) ____________________

มุมบิดสูงสุด (Maximum angle of twist) (radian) ____________________

จำนวนรอบของมือหมุน	มุมบิด, ϕ (radian)	แรงบิด, T (N-m)	Shearing stress, $\tau = Tc / J$ (MPa)	Shearing strain, $\gamma = c\phi/L$ (radian)

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเนื่องจากแรงบิด

7. ตารางสรุปผลการทดสอบ

	Specimen No. 1 ……..	Specimen No. 2 ……	Specimen No. 3 ……	Specimen No. 4 ……..
Proportional limit, τ_{pl} (MPa)				
0.1% offset yielding stress, τ_y (MPa)				
Ultimate stress, τ_u (MPa)				
Fracture stress, τ_f (MPa)				
Shear modulus of elasticity หรือ Modulus of rigidity, G (GPa)				
Modes of failure				

8. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของ Shearing stress (τ) และ Shearing strain (γ) ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 5

Compression Test of Woods Parallel and Perpendicular to Grain

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) และลักษณะการวิบัติ (modes of failure) ของไม้ในแนวขนานไปกับเสี้ยนไม้และในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้ และหาคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของไม้ภายใต้การกระทำของแรงกดอัด (compressive force) ซึ่งประกอบด้วย

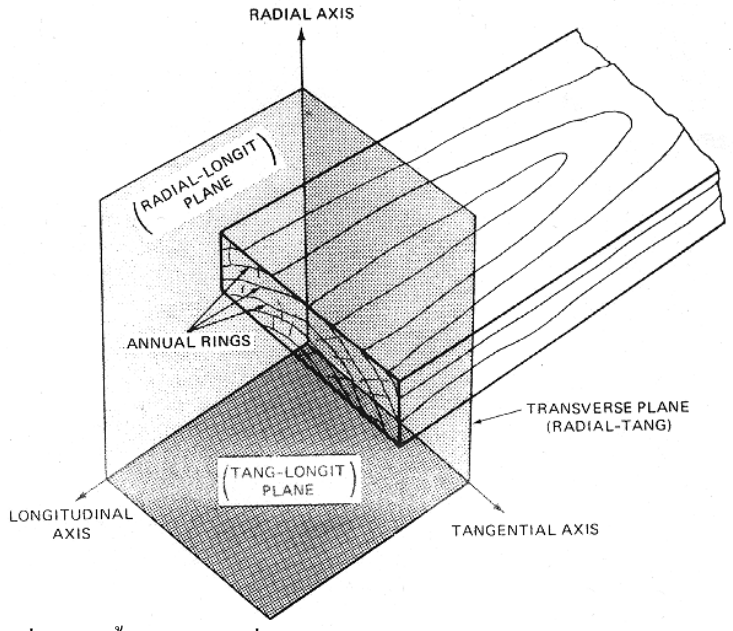
1. Compressive stress at proportional limit, $\sigma_{c,pl}$
2. 0.05% offset yielding compressive stress, $\sigma_{c,y}$
3. Ultimate compressive stress, $\sigma_{c,u}$
4. Modulus of elasticity , E
5. Modulus of resilience, u_r

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM D143
2. คู่มือเครื่องทดสอบแรงกดอัดระบบ hydraulic

3. ทฤษฎีพื้นฐาน

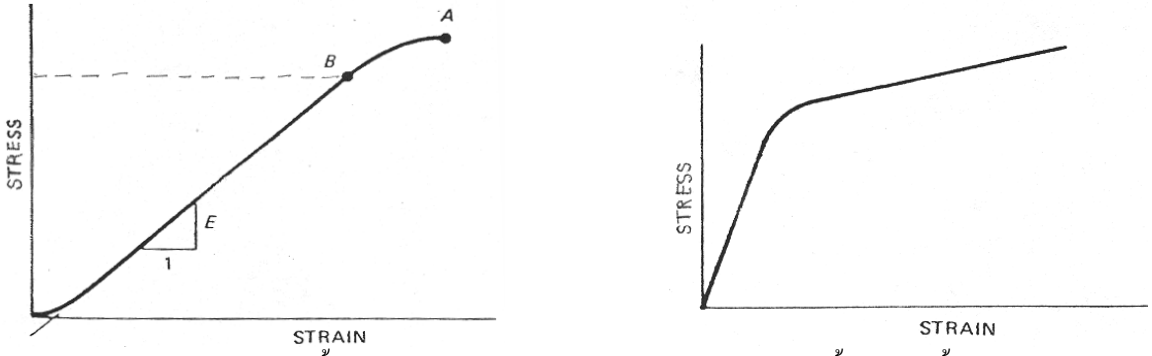
ไม้ (wood) เป็นวัสดุวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติทางกลแบบ Orthotropic นั่นคือคุณสมบัติทางกลของไม้มีค่าไม่เท่ากันในแกนตั้งฉากสามแกน (longitudinal, tangential, และ radial) ดังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แกนตั้งฉาก 3 แกนที่ใช้อ้างอิงในการพิจารณาคุณสมบัติทางกลของไม้

การที่ไม้มีคุณสมบัติทางกลดังกล่าวเนื่องมาจากการวางตัวของเสี้ยนไม้ที่มีความแข็งแรงไม่เท่ากันในแกนตั้งฉากดังกล่าว โดยที่เมื่อแรงกระทำต่อแท่งไม้อยู่ในทิศทางที่ขนานไปกับเสี้ยนไม้ (parallel to grain) แล้ว เสี้ยนไม้ที่มีความแข็งแรงมากที่สุดจะทำหน้าที่ต้านทานแรงกระทำ ในทางกลับกัน เมื่อแรงกระทำต่อแท่งไม้อยู่ในทิศทางที่ตั้งฉาก (perpendicular to grain) กับเสี้ยนไม้แล้ว เสี้ยนไม้ที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและอ่อนแอที่สุดจะทำหน้าที่ต้านทานแรงกระทำร่วมกัน ดังนั้น กำลังรับแรงอัดของไม้ในแนวขนานกับเสี้ยนไม้จะมีค่ามากกว่า กำลังรับแรงอัดของไม้ในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

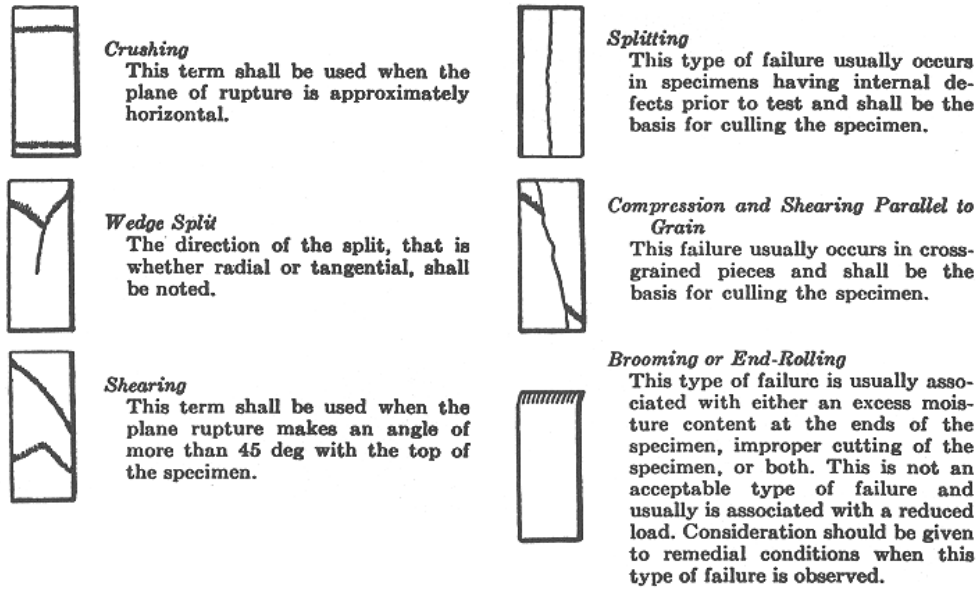
โดยทั่วไปแล้ว แผนภาพความสัมพันธ์ Stress-strain ของไม้ในทิศทางที่ขนานกับเสี้ยนไม้และตั้งฉากกับเสี้ยนไม้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2a และ 2b ตามลำดับ ซึ่งเราจะเห็นว่า ไม้ไม่มีจุด Yielding point ที่ชัดเจน ดังนั้น จุด Proportional limit มักจะถูกใช้เป็นจุดที่กำหนดกำลังรับแรงในช่วงยืดหยุ่นของไม้ (Elastic strength)



a.) ขนานไปกับเสี้ยนไม้ b.) ตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

รูปที่ 2 Stress-strain diagram ของไม้ในทิศทางที่ขนานไปกับเสี้ยนไม้และตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

ลักษณะการวิบัติ (Modes of failure) ของไม้โดยแรงกดอัดสามารถจำแนกออกได้เป็น 6 ประเภทคือ Crushing, Wedge Split, Shearing, Splitting, Compression และ shearing ขนานกับเสี้ยนไม้, และ Brooming ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะการวิบัติทั่วไปของไม้โดยแรงกดอัด

คุณสมบัติทางกลต่างๆ ของไม้นั้นโดยส่วนใหญ่แล้วขึ้นอยู่กับ

a. ชนิดของไม้

b. ความชื้นของเนื้อไม้ - ความชื้นของเนื้อไม้ที่ใช้ในงานก่อสร้างควรมีค่าน้อยกว่า 19% เนื่องจากว่าถ้าไม้มีความชื้นมากจะทำให้ Cellulose/lignin เสี้ยนไม้มีความอ่อนตัวลงซึ่งจะไปลดทั้งกำลังและความแข็งของไม้

c. ความถ่วงจำเพาะ - ไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมี Cellulose/lignin เสี้ยนไม้อยู่สูงทำให้ไม้มีกำลังและความแข็งมากกว่าไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ

d. ชนิด, ขนาด, และตำแหน่งของตำหนิที่อยู่บนไม้

การทดสอบแบบกดอัดของไม้ได้ระบุอยู่ในมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) ASTM D 143 โดยทั่วไปแล้วการทดสอบไม้จะทดสอบในทิศทางขนานและตั้งฉากกับแนวของเสี้ยนไม้ โดยจะพยายามให้การกระจายของแรงกดที่จุดที่กดตัวอย่างทดสอบมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอและแรงที่กระทำมีทิศทางตั้งฉากกับตัวอย่างทดสอบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบขนาด 50 x 50 x 200 mm สำหรับการทดสอบในแนวขนานกับเสี้ยนไม้ และตัวอย่างทดสอบขนาด 50 x 50 x 150 mm สำหรับการทดสอบในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้

5. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบแรงกดอัดระบบ hydraulic
2. ไม้บรรทัดเหล็ก
3. Dial gauge
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

6. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และสังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างทดสอบ
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้ และทำการติดตั้ง Dial gauge
3. เคลื่อนที่หัวกดมายังตำแหน่งที่พร้อมทำการทดสอบ จากนั้น ทำการปรับค่าที่อ่านได้จาก dial gauge และค่าแรงจากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงกดอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่ง แท่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ทำการบันทึกค่าระยะหดตัวของตัวอย่างทดสอบเมื่อแรงกดอัดมีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆ 4 kN ในกรณีทดสอบแรงกดอัดกระทำขนานกับแนวของเสี้นไม้และ 2 kN ในกรณีทดสอบแรงกดอัดกระทำตั้งฉากกับเสี้ยนไม้
5. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบและตัวอย่างทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

7. ผลการทดสอบ

Compression test of wood parallel to grain

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ, b x d (mm x mm)	____________	____________
Gauge length, L (mm)	____________	____________
น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ (kg)	____________	____________
พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (mm^2)	____________	____________
ความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ (kg/m^3)	____________	____________

Specimen No. 1				Specimen No. 2			
แรงกดอัด (kN)	ระยะหดตัว ($x10^{-3}$mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	แรงกดอัด (kN)	ระยะหดตัว ($x10^{-3}$mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)

<u>Compression test of wood perpendicular to grain</u>

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ, b x d (mm x mm)	____________	____________
Gauge length, L (mm)	____________	____________
น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ (kN)	____________	____________
พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (mm^2)	____________	____________
ความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ (kg/m^3)	____________	____________

Specimen No. 1				Specimen No. 2			
แรงกดอัด (kN)	ระยะหดตัว (x10^{-3}mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	แรงกดอัด (kN)	ระยะหดตัว (x10^{-3}mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

8. ตารางสรุปผลการทดสอบ

Compression test of wood perpendicular to grain

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
Compressive stress at proportional limit, $\sigma_{c,pl}$ (MPa)		
0.05% offset yielding compressive stress, $\sigma_{c,y}$ (MPa)		
Ultimate compressive stress, $\sigma_{c,u}$ (MPa)		
Modulus of elasticity , E (GPa)		
Modulus of resilience, u_r (MJ/m^3)		
Modes of failure		

Compression test of wood parallel to grain

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
Compressive stress at proportional limit, $\sigma_{c,pl}$ (MPa)		
0.05% offset yielding compressive stress, $\sigma_{c,y}$ (MPa)		
Ultimate compressive stress, $\sigma_{c,u}$ (MPa)		
Modulus of elasticity , E (GPa)		
Modes of failure		

9. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ stress (σ) และ strain (ε) ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 6

Compression and Flexural Test and Absorption Test of Bricks

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) และลักษณะการวิบัติ (modes of failure) และหาคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของอิฐดินเผา (brick) ภายใต้การกระทำของแรงกดอัด (compressive force) และแรงดัด (flexure) ดังต่อไปนี้

1. Ultimate compressive stress, $\sigma_{c,u}$
2. Modulus of elasticity , E
3. Modulus of rupture, σ_r
4. percent of absorption ของอิฐดินเผา

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM C67
2. คู่มือเครื่องทดสอบแรงกดอัดระบบ hydraulic

3. ทฤษฎีพื้นฐาน

อิฐ (Clay Brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่เก่าแก่ดังที่จะเห็นได้ว่าโบราณสถานต่างๆได้ถูกสร้างขึ้นโดยอิฐ ส่วนประกอบที่สำคัญของอิฐคือดินเหนียว ที่ถูกนำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตภายใต้ความร้อนที่สูง จนกระทั่งดินเหนียวนั้นอ่อนตัวลงและหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน อิฐที่มีลักษณะที่ดีจะต้องมีผิวหน้าที่เรียบ หนาเท่ากันตลอดทั้งก้อน มีขอบเหลี่ยมที่คม เนื้ออิฐควรมีลักษณะเดียวกันตลอด การดูดซึมน้ำมีค่าน้อยกว่า 20% ของน้ำหนักของตัวอิฐ และมีกำลังรับแรงกดและแรงดัดสูง อิฐมีอายุการใช้งานที่นานและต้องการการดูแลรักษาน้อย ทนไฟและเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี รูปร่างหน้าตัดไม่มีความเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความร้อน สามารถที่จะนำมาก่อและจัดเรียงให้มีลักษณะตามที่ต้องการได้

กำลังรับแรงอัดของอิฐขึ้นอยู่กับ: ส่วนประกอบของดินเหนียวที่ใช้ทำอิฐ, กรรมวิธีการผลิต, และ ระดับและระยะเวลาในการเผาอิฐ การทดสอบอิฐได้ระบุอยู่ในมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) ASTM C 67 โดยทั่วไปแล้ว อิฐที่ใช้ในงานอาคารมักจะถูกทดสอบ 3 แบบคือ การทดสอบกดอัดในลักษณะวางแบนราบ แนวขวาง แนวยาว เพื่อหากำลังรับแรงอัดของอิฐในแนวต่างๆ ดังกล่าว การทดสอบแรงดัดในลักษณะวางแบนราบและแนวขวาง เพื่อหากำลังรับแรงดัดของอิฐ และการทดสอบหาการดูดซึมน้ำของอิฐเพื่อใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความคงทนของอิฐและการดูดน้ำของอิฐจากปูนก่อ (mortar)

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างอิฐมาตรฐาน มอก จำนวนทั้งหมด 14 ก้อน โดยที่ 6 ก้อนใช้ในการทดสอบแรงกดอัด 4 ก้อนใช้ในการทดสอบแรงดัด และ 4 ก้อนใช้ในการทดสอบหาเปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำ (percent of absorption)

5. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบแรงอัดโดยใช้ระบบ Hydraulic (Hydraulic compression testing machine)
2. ปูนพลาสเตอร์, ปูนขาว, และน้ำสะอาด
3. กระจกหนาใส และถุงพลาสติกใส
4. เกียงใช้ในการผสมปูน 1 อัน
5. กระบอกตวงขนาด 1000 ซม^3 1 อัน
6. ถังผสมปูน 1 ถัง
7. ไม้บรรทัดเหล็ก 1 อัน
8. แผ่นเหล็กยาว 1 แผ่น
9. ลูกน้ำตาไก่ 1 อัน

6. ขั้นตอนการทดสอบ

Compression Test

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และสังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างทดสอบ
2. ทำการตกแต่งผิวของตัวอย่างทดสอบด้านที่จะรับแรงกดด้วยปูนพลาสเตอร์เพื่อให้การกระจายของแรงกดมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ โดยใช้ capping ที่มีส่วนผสมปูนพลาสเตอร์ 350 กรัม, ปูนขาว 700 กรัม, และน้ำสะอาด 400 ซม^3 จากนั้น นำปูนพลาสเตอร์ที่ผสมจนเข้ากันดีแล้วมาเทลงบนกระจกที่เตรียมไว้ โดยมีถุงพลาสติกใสรองอยู่ด้านบนของกระจก แล้วนำก้อนตัวอย่างทดสอบมาวางบนปูนผสม จับระดับโดยใช้ลูกน้ำตาไก่ กดอิฐเพื่อปรับแต่งความหนาของปูนพลาสเตอร์โดยให้มีความหนาไม่เกิน 6 มม. และทำการตกแต่งความเรียบร้อย แล้วพลิกตัวอย่างทดสอบทำเช่นเดิมกับอีกด้านหนึ่งที่เหลือ แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ปูนพลาสเตอร์แข็งตัวเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้
4. เคลื่อนที่หัวกดมายังตำแหน่งที่พร้อมทดสอบ จากนั้น ปรับค่าแรงที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์
5. ทำการเพิ่มแรงกดอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงกดอัดสูงสุด สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

Flexural Test

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และสังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างทดสอบ
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้ ในลักษณะการทดสอบแบบ three-point loading
3. เคลื่อนที่หัวกดมายังตำแหน่งที่พร้อมทดสอบ จากนั้น ปรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงดัดให้กับตัวอย่างทดสอบ อย่างช้าๆ จนกระทั่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ โดยควบคุมให้อัตราการให้แรงกระทำมีค่าไม่เกิน 10 kN/นาที และอัตราการเคลื่อนที่ของหัวกดน้อยกว่า 1.27 mm/นาที จากนั้น ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดสูงสุด สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบในตารางสรุปผลการทดสอบ

Water Absorption Test

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และสังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างทดสอบ
2. แช่ตัวอย่างทดสอบลงในน้ำให้ท่วมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง

3. เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการเช็ดตัวอย่างทดสอบด้วยผ้าเพื่อให้ตัวอย่างทดสอบอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จากนั้น ทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบให้เสร็จสิ้นภายใน 5 นาที

ภาพร่างแสดง compression test ของอิฐที่พร้อมจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

ภาพร่างแสดง flexural test ของอิฐที่พร้อมจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

7. ผลการทดสอบ

Compression test

Specimen No.	การวางตัวของอิฐ	ขนาด (mm x mm x mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	Crushing Load (kN)	Crushing stress (MPa)
1	Length-wise					
2	Length-wise					
3	Flat-wise					
4	Flat-wise					
5	Edge-wise					
6	Edge-wise					

ภาพร่างแสดง modes of failure ของอิฐภายใต้แรงกดอัด

Flexural test

Specimen No.	การวางตัวของอิฐ	ขนาดหน้าตัด b x d (mm x mm)	Span ระหว่างจดรองรับ, L (kg/m^3)	Max. Load, P (kN)	Modulus of Rupture, $R = 3PL/2bd^2$ (MPa)
1	Flat-wise				
2	Flat-wise				
3	Edge-wise				
4	Edge-wise				

ภาพร่างแสดง modes of failure ของอิฐภายใต้แรงดัด

Water absorption test

Specimen No.	น้ำหนักอิฐแห้ง, W (kg)	น้ำหนักเมื่อจุ่มน้ำ 1 ชั่วโมง, W_1 (kg)	น้ำหนักเมื่อจุ่มน้ำ 24 ชั่วโมง, W_{24} (kg)	% Apsorption เมื่อจุ่มน้ำ 1 ชั่วโมง, $\frac{W_1 - W}{W}100\%$	% Apsorption เมื่อจุ่มน้ำ 24 ชั่วโมง, $\frac{W_{24} - W}{W}100\%$
1					
2					
3					
4					

8. ตารางสรุปผลการทดสอบ

Average crushing stress (MPa)	
Average modulus of rupture (MPa)	
Average percent of absorption เมื่อจุ่มน้ำ 1 ชั่วโมง	
Average percent of absorption เมื่อจุ่มน้ำ 24 ชั่วโมง	

9. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
2. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 7

Compression and Split Cylinder Test of Concrete

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (mechanical behavior) และลักษณะการวิบัติ (modes of failure) และหาคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของคอนกรีต (concrete) ภายใต้การกระทำของแรงกดอัด (compressive force) ดังต่อไปนี้

1. Ultimate compressive stress, f_c'
2. Modulus of elasticity
3. Splitting tensile strength, f_{ct}

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM C39 (Compression test) และ ASTM C496 (Tensile splitting test)
2. คู่มือเครื่องทดสอบแรงกดอัดระบบ hydraulic

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 150 x 300 mm ซึ่งได้รับการหล่อและบ่ม (curing) เป็นเวลา 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบแรงอัดโดยใช้ระบบ Hydraulic (Hydraulic compression testing machine)
2. ไม้บรรทัดเหล็ก หรือ Veneer caliper
3. Dial gauge
4. เครื่องชั่ง

5. ขั้นตอนการทดสอบ

Compression Test

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้ แล้วทำการติดตั้ง dial gauge
3. ปรับหัวกดให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมทดสอบ จากนั้น ปรับค่าแรงกดอัดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบและ dial gauge ไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงกดอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ โดยควบคุมให้อัตราการให้แรงกระทำก่อให้เกิดหน่วยแรงกดอัดมีค่าอยู่ระหว่าง 14-35 MPa/นาที และให้อัตราการเคลื่อนที่ของหัวกดมีค่าประมาณ 11 mm/นาที ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดและระยะการหดตัวอย่างน้อย 20 ค่าในระหว่างทดสอบ เมื่อแท่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดสูงสุด สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

Split Cylinder Test

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบในทิศทางที่กำหนดไว้
3. ปรับหัวกดให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมทดสอบ จากนั้น ปรับค่าแรงกดอัดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงกดอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ โดยควบคุมอัตราการให้แรงกระทำก่อให้เกิดหน่วยแรงกดอัดมีค่าอยู่ระหว่าง 7-14 MPa/นาที เมื่อแท่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดสูงสุด สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบในตารางสรุปผลการทดสอบ

ภาพร่างแสดง compression test และ split cylinder test ของ concrete cylinder ที่พร้อมจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ตารางผลการทดสอบ

<u>Compression Test</u>

	Specimen No.1	Specimen No.2
Diameter, d (mm)	____________	____________
Height, h (mm)	____________	____________
Weight, W (kg)	____________	____________
Cross-section area, A (mm^2)	____________	____________
Volume, V (mm^3)	____________	____________

Specimen No. 1				Specimen No. 2			
Load, P (kN)	Contraction, δ (x10^{-3}mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Load, P (kN)	Contraction, δ (x10^{-3}mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)

ภาพร่างแสดง modes of failure ของ concrete cylinder ภายใต้แรงกดอัด

Split cylinder test

	Specimen No.1	Specimen No.2
Diameter of specimen, d (mm)	_____	_____
Length of specimen, L (mm)	_____	_____
Weight of specimen, W (kg)	_____	_____
Cross-section area, A (mm^2)	_____	_____
Volume (mm^3), V	_____	_____
Max. Compressive Load, P_{max} (kN)	_____	_____

ภาพร่างแสดง modes of failure ของ concrete cylinder หลังทดสอบ Split cylinder test

7. ตารางสรุปผลการทดสอบ

Compression Test

Specimen No.	1	2	Average
Density of specimen (kg/m^3)			
Ultimate Compressive Load (kN)			
Compressive strength, f_c' (MPa)			
Initial tangent modulus of elasticity , E_i (MPa)			
Tangent modulus of elasticity at 40% of Compressive strength, E_t (MPa)			

Split Cylinder Test

Specimen No.	1	2	Average
Density of specimen (kg/m^3)			
Max. Compressive Load (kN)			
Splitting tensile strength, $\sigma_{ct} = \frac{2P_{\max}}{\pi Ld}$ (MPa)			

8. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ compressive stress และ compressive strain ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 8

Flexural Test of Wood

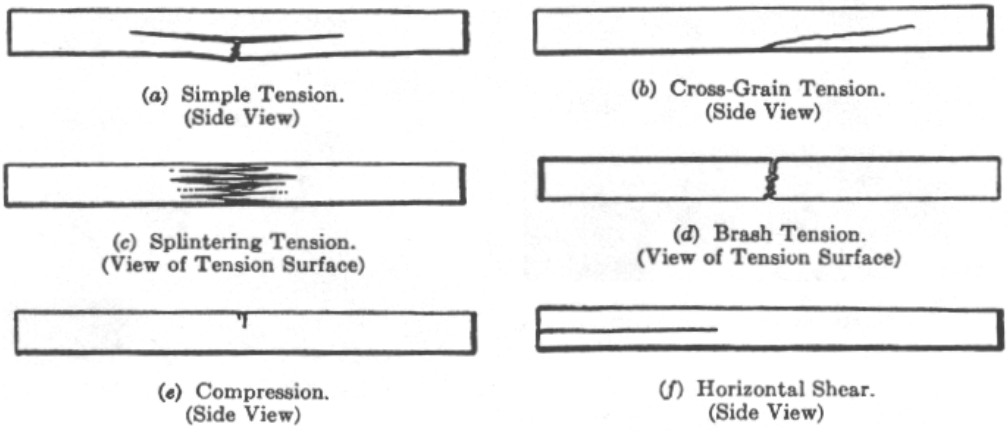
1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (Mechanical behavior) และคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ของไม้ (wood) ภายใต้การกระทำของโมเมนต์ดัด (Bending moment) ซึ่งประกอบด้วย

1. Flexural stress at the outer fiber at Proportional limit, σ_{pl}
2. Flexural stress at the outer fiber at failure หรือ Modulus of rupture, σ_r
3. Modulus of elasticity, E
4. Modulus of resilience, u_r
5. Maximum shearing stress, $\tau_{\max}$
6. Modes of failure

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

ลักษณะการวิบัติของไม้ภายใต้การกระทำของโมเมนต์ดัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการวิบัติของไม้ภายใต้การกระทำของโมเมนต์ดัด (ASTM D143)

3. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM D143
2. คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (GUNT WP 300)

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบไม้ขนาด 50 x 50 x 800 mm และ 50 x 50 x 300 mm

5. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Dial gauge

3. ไม้บรรทัดเหล็กหรือ Veneer caliper
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

6. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดหน้าตัดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ และทำการร่างรูปร่างของตัวอย่างทดสอบโดยระบุถึงลักษณะของวงปีที่ปลายของตัวอย่างทดสอบและรอยตำหนิต่างๆ
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับจุดรองรับให้มีระยะห่างระหว่างจุดรองรับเท่ากับที่กำหนด (0.25 m หรือ 0.75 m) จากนั้น ทำการเคลื่อนหัวกดมายังตำแหน่งที่พร้อมทำการทดสอบ พร้อมทั้งติดตั้ง dial gauge ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับ โดยพยายามติดตั้งให้ dial gauge มีระยะวัดสูงสุดเท่าที่จะทำได้
3. ปรับค่าที่อ่านได้จาก dial gauge และมาตรวัดแรงไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ ทำการอ่านค่าแรงกระทำและค่าการโก่งตัวในเวลาเดียวกัน โดยจะต้องให้มีจุดที่อ่านอย่างน้อยที่สุด 20 จุดก่อนตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ (ช่วงของแรงกระทำควรมีค่าประมาณ 400-700 N สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มี span 0.75 m และ 1000-1500 N สำหรับตัวอย่างทดสอบที่มี span 0.25 m) บันทึกค่าแรงกระทำที่จุดวิบัติ
5. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

<u>ภาพร่างแสดง Flexural test ของไม้พร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ</u>

7. ผลการทดสอบ

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
ขนาดหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ, b x d (mm x mm)	____________________	____________________
ความยาว Span ของตัวอย่างทดสอบ, L (m)	____________________	____________________
น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ (kg)	____________________	____________________
Moment of inertia ของหน้าตัด, I (mm^4)	____________________	____________________

Load, F (kN)	Deflection (Δ) of Specimen No. 1 (mm)	Deflection (Δ) of Specimen No. 2 (mm)

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

8. ตารางสรุปผลการทดสอบ

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
Flexural stress at the outer fiber at Proportional limit (MPa) $\sigma_{pl} = \frac{3F_{pl}L}{2bd^2}$		
Modulus of rupture (MPa) $\sigma_r = \frac{3F_{\max}L}{2bd^2}$		
Modulus of elasticity (MPa) $E = \frac{FL^3}{48I\Delta}$		
Modulus of resilience (MJ/m^3) $u_r = \frac{\sigma_{pl}^2}{18E}$		
Maximum shearing stress (MPa) $\tau_{\max} = \frac{3V_{\max}}{2A} = \frac{3P_{\max}}{4bd}$		
Modes of failure		

9. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำ F และระยะการโก่งตัว Δ ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 9

Flexural Test of Steel and Cast Iron

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (Mechanical behavior) และคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ของเหล็กโครงสร้าง (Structural steel) และเหล็กหล่อ (Cast iron) ภายใต้การกระทำของโมเมนต์ดัด (Bending moment) ซึ่งประกอบด้วย

1. Flexural load and stress at Yielding point (0.5 mm offset deflection)
2. Maximum flexural load
3. Maximum deflection
4. Secant flexural modulus of elasticity at 70 and 140 MPa
5. Modes of failure

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM E529
2. คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบของเหล็กโครงสร้างและเหล็กหล่อขนาด 25 x 25 x 350 mm

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Dial gauge
3. Micrometer
4. ไม้บรรทัดเหล็ก

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับจุดรองรับให้มีระยะห่างระหว่างจุดรองรับเท่ากับ 0.30 m จากนั้น ทำการเคลื่อนหัวกดมายังตำแหน่งที่พร้อมทดสอบ พร้อมทั้งติดตั้ง dial gauge ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับ โดยพยายามติดตั้งให้ dial gauge มีระยะวัดสูงสุดเท่าที่จะทำได้
3. ปรับค่าที่อ่านได้จาก dial gauge และมาตรวัดแรงไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ ทำการอ่านค่าแรงกระทำและค่าการโก่งตัวในเวลาเดียวกัน โดยจะต้องให้มีจุดที่อ่านอย่างน้อยที่สุด 20 จุดก่อนตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ และบันทึกค่าแรงกระทำและระยะโก่งตัวที่จุดวิบัติ

5. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบและตัวอย่างทดสอบที่จะเริ่มทำการทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ตารางผลการทดสอบ

	Specimen No. 1	Specimen No. 2
ขนาดหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ, b x d (mm x mm)	____________________	____________________
ความยาว Span ของตัวอย่างทดสอบ, L (m)	____________________	____________________
Moment of inertia ของหน้าตัด (mm^4)	____________________	____________________

Load, F (kN)	Deflection (Δ) of Specimen No. 1 (mm) ………………………..	Deflection (Δ) of Specimen No. 2 (mm) ………………………

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

7. ตารางสรุปผลการทดสอบ

	Specimen No. 1 ……..	Specimen No. 2 ……..
Maximum load, $F_{\max}$ (kN)		
Maximum deflection, $\Delta_{\max}$ (mm)		
Flexural load and stress at Yielding point (0.5 mm offset deflection), $\sigma_y = \frac{3F_{offset}L}{2bd^2}$ (MPa)		
Modulus of rupture, $\sigma_r = \frac{3F_{\max}L}{2bd^2}$ (MPa)		
Secant flexural modulus of elasticity at 70 MPa, $E_{70} = \frac{F_{70}L^3}{48I\Delta_{70}}$ (MPa)		
Secant flexural modulus of elasticity at 140 MPa, $E_{140} = \frac{F_{140}L^3}{48I\Delta_{140}}$ (MPa)		
Modes of failure		

8. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำ F และระยะการโก่งตัว Δ ของตัวอย่างทดสอบ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงจุดต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบ
2. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
3. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 10

Direct Shear Test of Steel, Copper, and Aluminum

1. วัตถุประสงค์

เพื่อหากำลังรับแรงเฉือน (Shearing strength) ของแท่งเหล็กโครงสร้าง (Structural steel) ทองแดง (Copper) และอลูมิเนียม (Aluminum) รูปทรงกระบอกโดยการทดสอบแบบ Double shear และศึกษารูปแบบการวิบัติ (Modes of failure)

2. เอกสารอ้างอิง

1. คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (GUNT WP 300)

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกทำด้วยเหล็กโครงสร้าง ทองแดง และอลูมิเนียม

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Dial gauge
3. Veneer caliper
4. Micrometer

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ (d) เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (A)
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ ตามคู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
3. ปรับค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงดึงไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนตัวอย่างเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงที่จุดวิบัติ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบ Shear test พร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ตารางผลการทดสอบ

Specimen No./ Type of Specimen	Diameter (mm)	Cross-sectional Area, A (mm^2)	Load at Rupture, P_{max} (kN)	Shearing Strength, $\tau = P_{max}/(2A)$ (MPa)
1.)…….				
2.)…….				
3.)…….				
4.)…….				
5.)…….				
6.)…….				

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบภายใต้แรงเฉือน

7. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
2. เขียน Discussions และ Conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 11

Shear Test of Wood Parallel to Grain

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะหากำลังรับแรงเฉือน (shearing strength) และศึกษาลักษณะการวิบัติ (modes of failure) ของไม้ในแนวตามเสี้ยน โดยการทกสอบแบบ single shear

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM 143
2. คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (GUNT WP 300)

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานขนาด 50 x 50 x 62.5 mm

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. อุปกรณ์จับตัวอย่างทดสอบแรงเฉือน
3. ไม้บรรทัดเหล็ก
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ เพื่อหาความหนาแน่นของไม้
2. ตรวจสอบตำหนิของตัวอย่างทดสอบ พร้อมลักษณะของตำหนิ พร้อมวาดรูปประกอบ
3. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับอุปกรณ์จับตัวอย่างทดสอบแรงเฉือน โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม
4. ติดตั้งเครื่องมือจับตัวอย่างทดสอบแรงเฉือนที่ได้จากข้อ 3 เข้ากับเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
5. ปรับค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงไปที่ศูนย์
6. ทำการเพิ่มแรงให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ จนตัวอย่างเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงที่จุดวิบัติ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ วัดหาความยาวของรอยแตกร้าวเพื่อคำนวณหา shearing area พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบและตัวอย่างทดสอบแรงเฉือนพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ตารางผลการทดสอบ

Specimen No./ Materials	Density (kg/m^3)	Shearing Area, A (mm^2)	Max. Load, P_{max} (kN)	Max. Shearing Stress, $\tau_{max} = P_{max} / A$ (MPa)
1.)…….				
2.)…….				
3.)…….				
4.)…….				
5.)…….				

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเนื่องจากแรงเฉือน

7. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. หาค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงในวัตถุประสงค์การทดสอบตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางสรุปผลการทดสอบ
2. เขียน discussions และ conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

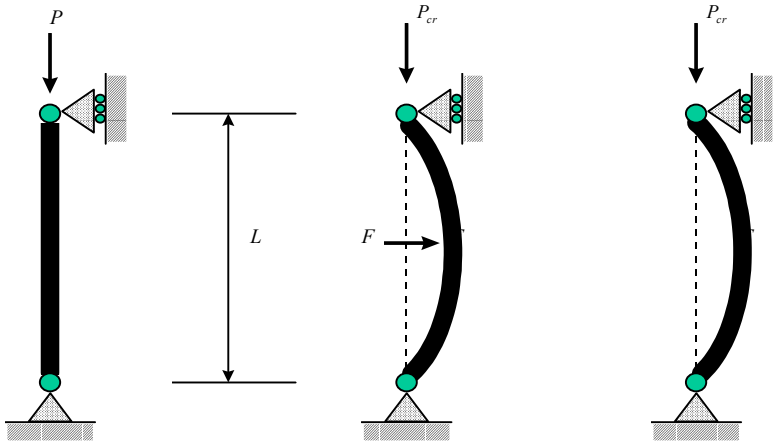
ปฏิบัติการที่ 12

Buckling of Steel Column

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรม (Behavior) และรูปแบบการวิบัติ (Modes of Failure) ของเสาเหล็ก (Steel column) ที่มีค่าอัตราส่วนความชลูด (Slenderness ratio) ต่างๆ ภายใต้การกระทำของแรงกดอัดในแนวแกน (Axial compressive load) และหาน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ (Critical load) และหน่วยแรงวิกฤติ (Critical stress) ของเสาเหล่านั้น

2. ทฤษฎีพื้นฐาน



รูปที่ 1

พิจารณาเสาที่ถูกรองรับโดยหมุดที่ปลายทั้งสองของเสาและถูกกระทำโดยแรงกดอัดในแนวแกน P ตามที่แสดงในรูปที่ 1a โดยที่

1. เสามีลักษณะยาวเรียวและตรง ก่อนที่จะถูกกระทำโดยแรงกดอัดในแนวแกน P
2. เสาทำด้วยวัสดุที่มีเนื้อเดียว (homogeneous) และมีพฤติกรรม Linear elastic ซึ่งสอดคล้องกับ Hooke's law
3. แรง P กระทำผ่านจุด centroid ของหน้าตัดของเสา
4. ภายใต้แรง P เสาจะเกิดการโก่งตัวอยู่ในระนาบเดียวเท่านั้น
5. จุดรองรับที่ปลายเสาทั้งสองปลายเป็นหมุดที่ไร้แรงเสียดทาน (frictionless pin)

เมื่อแรง P มีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าหนึ่งแล้ว เสาจะเริ่มขาดเสถียรภาพ ซึ่งแรงค่าดังกล่าวจะถูกเรียกว่าแรงวิกฤติหรือน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ (Critical load หรือ P_{cr}) และถ้ามีแรงที่มีค่าน้อยมากๆ F มากระทำทางด้านข้างของเสา ดังที่แสดงในรูปที่ 1b เสาก็จะเกิดการโก่งตัวทางด้านข้างขึ้น ถ้าเราเอาแรง F ออก การโก่งตัวของเสาก็คงยังมีลักษณะคงเดิม คือไม่มีการคืนตัวกลับที่เดิม ดังที่แสดงในรูปที่ 1c ถ้าเราลดขนาดของแรง P ให้มีค่าน้อยกว่า P_{cr} เพียงเล็กน้อยแล้ว เสาก็จะกลับคืนสู่รูปร่างเดิมก่อนที่แรง F กระทำได้ แต่ถ้าเราเพิ่มขนาดของแรง P ให้มีค่ามากกว่า P_{cr} เพียงเล็กน้อยแล้ว เสาก็จะเกิดการโก่งตัวทางด้านข้างมากขึ้นอย่างรวดเร็ว

เราจะเขียนแผนภาพ free-body diagram ของเสาที่ระยะ x จากปลายด้านบนของเสาในรูปที่ 1c ได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2b เนื่องจากเสาถูกดัดโดย Moment ดัดภายใน M เท่านั้น และถ้าค่าการโก่งตัว (Deflection) ของเสา v มีค่าที่น้อยมากแล้ว เราจะเขียนความสัมพันธ์ของ Moment ดัดภายใน M กับค่าการโก่งตัว v ได้ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของระยะการโก่งตัวของคานและ Moment ดัดภายใน

$$EI\frac{d^2v}{dx^2} = M \tag{1}$$

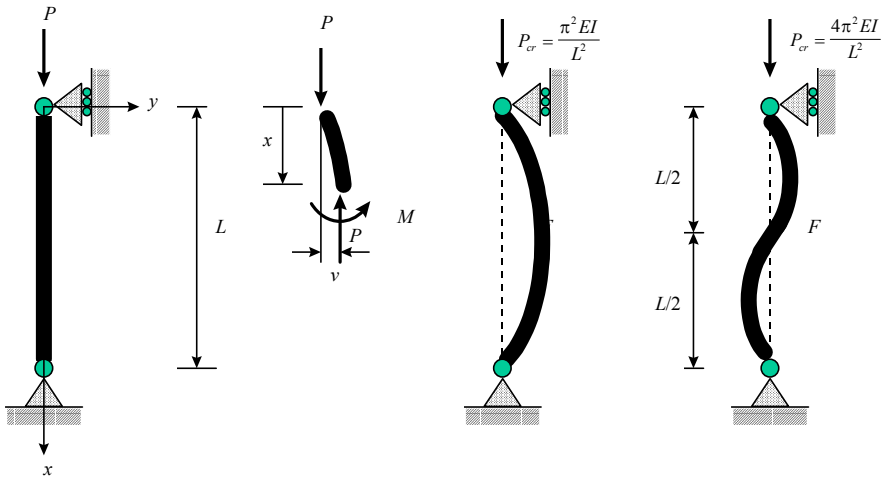
เนื่องจาก $M = -Pv$ ดังนั้น

$$EI\frac{d^2v}{dx^2} = -Pv$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{P}{EI}v = 0 \tag{2}$$

สมการที่ (2) นี้เป็นสมการที่อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์แบบเอกพันธ์เชิงเส้นตรงอันดับที่สองซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ (Homogenous Linear Differential Equation of Second Order with Constant Coefficients) ซึ่งเราจะแก้สมการนี้ได้โดยกำหนดให้ $k^2 = \frac{P}{EI}$ และเราจะเขียนสมการที่ (2) ใหม่ได้ในรูป $v'' + k^2\, v = 0$ และค่าการโก่งตัวของเสาจะอยู่ในรูป

$$v = C_1 \sin\, kx + C_2 \cos\, kx \tag{3}$$



รูปที่ 2

โดยใช้ Boundary conditions ที่จุดรองรับทั้งสองของเสา เราจะหาค่าคงที่ C_1 และ C_2 เนื่องจากการ Integration ได้ โดยที่

ที่ $x = 0$, $v = 0$ ดังนั้น $\quad C_2 = 0$

ที่ $x = L$, $v = 0$ ดังนั้น $\quad C_1 \sin\, kL = 0$

เราจะเห็นได้ว่า สมการ $C_1 \sin\, kL$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อเมื่อ $C_1 = 0$ หรือ $\sin\, kL = 0$ เท่านั้น

ถ้า $C_1 = 0$ แล้ว $C_1 \sin\, kL = 0$ แสดงว่า kL จะมีค่าเป็นเท่าไรก็ได้ ซึ่งหมายความว่าแรง P จะมีค่าเท่าไรก็ได้ด้วย (เนื่องจากว่า $P = k^2(EI)$) ดังนั้นคำตอบ $C_1 = 0$ จึงเป็นคำตอบที่ไม่มีความสำคัญ (Trivial solution)

ถ้า $\sin\, kL = 0$ แล้ว $C_1 \sin\, kL = 0$ จะถูกต้องเมื่อค่า $kL = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, ...$ แต่เนื่องจากว่า ถ้า $kL = 0$ (หรือ $k = 0$) แล้ว ค่าแรง $P = k^2(EI) = 0$ ดังนั้น คำตอบที่เราสนใจคือ

$$kL = n\pi \qquad n = 1,\ 2,\ 3,\ldots$$

หรือ
$$P = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2} \qquad n = 1,\ 2,\ 3,\ldots \tag{4}$$

ค่าของแรง P จะมีค่าที่น้อยที่สุดเมื่อ $n = 1$ ซึ่งแรงวิกฤตินี้จะถูกเรียกว่า Euler load ตามชื่อของผู้ค้นพบคือ Leonard Euler นักคณิตศาสตร์ชาวสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งจะเขียนได้อยู่ในรูป

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \tag{5}$$

โดยที่ $P_{cr} =$ แรงวิกฤติของเสาก่อนที่เสาจะเกิดการโก่งเดาะ โดยที่ $P_{cr} < P$ ซึ่งทำให้เกิดหน่วยแรงบนเสาเท่ากับ σ_{pl} หรือในทางปฏิบัติจะใช้ค่า σ_y

$E =$ Modulus of elasticity ของวัสดุที่ใช้ทำเสา

$I =$ ค่าที่น้อยที่สุดของ Moment of inertia ของพื้นที่หน้าตัดของเสา

$L =$ ความยาวของเสาระหว่างหมุดรองรับ

ค่าหน่วยแรงวิกฤติที่เกิดขึ้นในเสาจะหาได้โดยการหารสมการที่ 5 ด้วยพื้นที่หน้าตัดของเสา A ดังนั้น

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2}$$

กำหนดให้ $r^2 = I / A$ ซึ่งเป็น *Radius of Gyration* ของพื้นที่หน้าตัดของเสา ดังนั้น

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \tag{6}$$

เมื่อ $\sigma_{cr} =$ หน่วยแรงวิกฤติของเสา โดยที่ $\sigma_{cr} < \sigma_{pl}$ (ในทางปฏิบัติแล้วเราจะใช้ค่า σ_y แทนค่า σ_{pl})

$E =$ Modulus of elasticity ของวัสดุที่ใช้ทำเสา

$r =$ ค่าที่น้อยที่สุดของ Radius of Gyration ของเสา

$L =$ ความยาวของเสาระหว่างหมุดรองรับ

อัตราส่วน L / r ในสมการที่ 6 นี้จะถูกเรียกว่า *Slenderness Ratio* ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัด Flexibility ของเสาและมักจะถูกใช้ในการแบ่งเสาออกเป็น Short column, Intermediate column, และ Long column

3. เอกสารอ้างอิง

คู่มือเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบทำด้วยเหล็กโครงสร้างที่มีความยาวขนาดต่างๆ

5. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Veneer caliper
3. Micrometer
4. ไม้บรรทัดเหล็ก
5. ระดับน้ำ

6. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดความกว้าง ยาว และหนาของตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับจุดรองรับ โดยให้ตัวอย่างทดสอบอยู่ในแนวดิ่งและตั้งฉากกับหัวกดให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยใช้ระดับน้ำ
3. ปรับค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงกดอัดไปที่ศูนย์
4. ทำการเพิ่มแรงกดอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเสา เมื่อเสาเกิดการโก่งเดาะ ทำการบันทึกค่าแรงกดอัดที่จุดวิบัติ
5. นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกตรูปร่างและลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบและตัวอย่างทดสอบที่จะเริ่มทำการทดสอบพร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

7. ตารางผลการทดสอบ

Specimen No.	Dimensions, b x d x L (mm x mm x mm)	Cross-Sectional Area, A (mm^2)	Critical Loads, P_{cr} (kN)	Critical Stress, σ_{cr} (MPa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

8. ตารางสรุปผลการทดสอบ

Specimen No.	Obtained Critical Stress (MPa)	Moment of Inertia, I (mm^4)	Radius of Gyration, r (mm)	Slenderness ratio, L/r	Euler Stress, $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$ (MPa)	% Error
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

9. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Critical stress และ Slenderness ratio ของตัวอย่างทดสอบที่ได้เปรียบเทียบกับ Euler curve ที่ได้จากทฤษฎี (สมการที่ 6) และสมการที่ใช้ในการออกแบบเสา (Column design equations) ซึ่งหาได้จากหนังสืออ้างอิง
2. เปรียบเทียบค่า Critical stress ที่ทดสอบได้กับค่า Euler stress ตามทฤษฎี และสมการที่ใช้ในการออกแบบเสา
3. เขียน Discussions และ Conclusions ของการทดสอบ

410 214 Material Testing

School of Civil Engineering

Suranaree University of Technology

ชื่อ-นามสกุล _____ กลุ่ม _____

วันที่ทดสอบ _____

ปฏิบัติการที่ 13

Fatigue Test of Aluminum

1. วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะหา Fatigue strength และศึกษารูปแบบการวิบัติ (Mode of failure) ของ Aluminum เนื่องจาก Fatigue load

2. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM E606
2. คู่มือเครื่องทดสอบ Fatigue

3. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกทำด้วย Aluminum

4. อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องทดสอบ Fatigue
2. Veneer caliper และ Micrometer
3. ไม้บรรทัดเหล็ก

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ (d) และความยาวของตัวอย่างทดสอบ (L)
2. ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบตามคู่มือเครื่องทดสอบ Fatigue พร้อมใส่แรงกระทำ F ซึ่งกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 25 N ถึง 95 N
3. ปรับค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงกระทำและเครื่องนับรอบไปที่ศูนย์
4. ทำการทดสอบโดยเปิดสวิตซ์เครื่องทดสอบ รอจนตัวอย่างเกิดการวิบัติ บันทึกค่าแรงกระทำและจำนวนรอบของการหมุนของเครื่องทดสอบที่จุดวิบัติ สังเกตตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

ภาพร่างแสดงเครื่องทดสอบ Fatigue พร้อมรายละเอียดของจุดต่างๆ ที่สำคัญ

6. ตารางผลการทดสอบ

Specimen No.	Diameter, d (mm)	Moment of Inertia, $I = \pi d^4 / 64$ (mm^4)	Load, F (N)	Stress, $S = \frac{32FL}{\pi d^3}$ (MPa)	Cycles to Failure, N (Cycles)
1			25		
2			30		
3			35		
4			40		
5			45		
6			50		

ภาพร่างแสดงลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

(โดยเขียนภาพรวมของตัวอย่างทดสอบและภาพขยายหน้าตัดที่เกิดการวิบัติ)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลควรที่จะมีรายละเอียดอย่างน้อยที่สุดดังนี้

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Stress (S) และจำนวนรอบที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (N) เนื่องจาก Fatigue หรือที่เรียกว่า $S-N$ diagram โดยใช้ Semi-log กราฟ ให้แกน S เป็นแกนตั้งและแกน N (Logarithmic scale) เป็นแกนตั้ง พร้อมทั้งหาค่าของ Endurance limit ของเหล็กที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบ
2. เขียน Discussions และ Conclusions ของการทดสอบพร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่ามาตรฐานที่หาได้จากหนังสืออ้างอิง และบอกถึงสาเหตุของความแตกต่าง (ถ้ามี)