บทที่ 5

การเตรียมการทดสอบวัสดุ
(Introduction to Materials Testing)

1. บทนำ (introduction)

การทดสอบวัสดุโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับสามหัวข้อ คือการค้นหาข้อมูลใหม่ของวัสดุที่เป็นที่รู้จักอยู่เดิม การค้นหาคุณลักษณะหรือสมบัติจำเพาะของวัสดุชนิดใหม่ และการพัฒนากรรมวิธีมาตรฐานเพื่อใช้เป็นกระบวนทดสอบในอนาคต โดยการทดสอบวัสดุจะเกี่ยวข้องกับการทดลอง (experimentation) และการทดสอบ (testing) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่เหมือนกัน แต่มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก กล่าวคือการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดเก็บข้อมูลในกรณีที่ผลลัพธ์ที่ได้มีความไม่แน่นอน โดยต้องรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ศึกษา รวมทั้งสภาวะของการทดลองต่างๆให้ได้มากที่สุด ส่วนการทดสอบเป็นการทำตามกระบวนการที่เป็นมาตรฐานและบันทึกเฉพาะข้อมูลที่จำเป็น โดยมีการคาดหมายผลลัพธ์ที่จะได้ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด กระบวนการและผลลัพธ์ของการทดสอบกับการทดลองอาจเหมือนกัน โดยแตกต่างกันเฉพาะวัตถุประสงค์ของผู้ทดสอบหรือผู้ทดลองเท่านั้น

การทดสอบสามารถทำได้ทั้งในสนามจริงและในห้องปฏิบัติการ ปกติการทดสอบในสนามจริงมักมีความแม่นยำน้อยว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากหลายสาเหตุได้แก่ สภาวะความเป็นพิษ สิ่งรบกวนจากภายนอก ข้อจำกัดหรือขีดจำกัดของเวลา สภาวะบรรยากาศ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การทดสอบบางครั้งเหมาะสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมากกว่าการทดสอบในสนามจริง แต่บางการทดสอบก็เหมาะสำหรับการทดสอบในสนามจริง เช่นการทดสอบความเสียหายของคอนกรีตที่ได้จากการผสมในแต่ละครั้งที่ดีที่สุดควรทำการทดสอบในสนามจริง ส่วนการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดละเอียดหรือการทดสอบที่ต้องการสภาวะแบบพิเศษอย่างมาก การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะดีที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะการทดสอบต่างๆได้ดีกว่า

การเลือกกระบวนการทดสอบต้องพิจารณาสี่หัวข้อต่อไปนี้คือ

- การทดสอบกับชิ้นงานเต็มขนาด (full-size)
- การทดสอบกับต้นแบบหรือหุ่นจำลอง
- การทดสอบกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหรือชิ้นส่วนที่ตัดมาจากวัสดุใช้งานจริง
- การทดสอบกับชิ้นตัวอย่างสุ่มจากวัตถุดิบ (raw materials)

เมื่อทำการทดสอบกับชิ้นทดสอบที่ไม่ใช่ชิ้นงานเต็มขนาดจำเป็นต้องทราบสัดส่วนความสัมพันธ์ของชิ้นทดสอบกับชิ้นงานเต็มขนาด ทั้งนี้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของชิ้นทดสอบกลับไปเป็นผลลัพธ์ของชิ้นงานเต็มขนาด

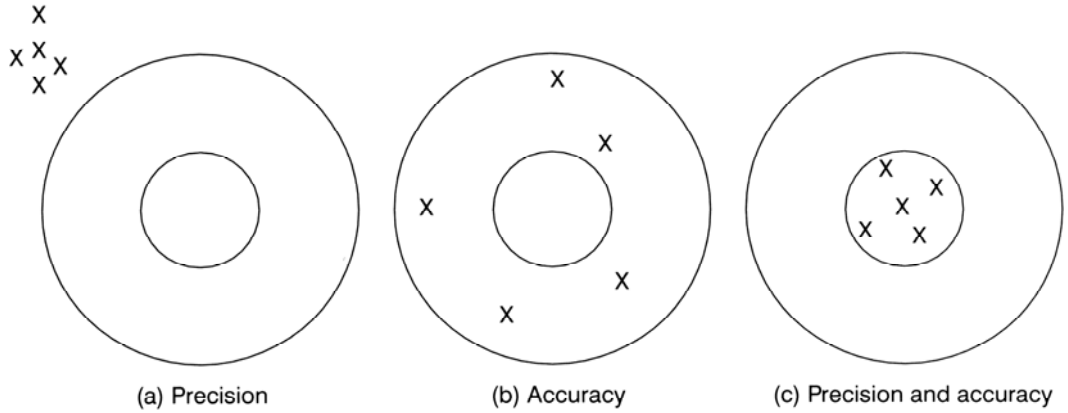
การทดสอบอาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มได้แก่ **การทดสอบแบบทำลาย (destructive)** กับ **การทดสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive)** ในการทดสอบแบบทำลาย ชิ้นงานต้องเป็นชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็นต้องนำไปใช้งานหลังการทดสอบ สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงานจะไม่เกิดความเสียหายและสามารถนำกลับไปใช้งานได้หลังการทดสอบ ตัวอย่างการทดสอบแบบทำลายเช่นการเป่าลูกโป่งจนแตก ซึ่งไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ ส่วนการทดสอบแบบไม่ทำลายเช่นการเติมน้ำในลูกโป่งเพื่อตรวจดูว่ามีรอยรั่วหรือเปล่า โดยหลังการทดสอบเมื่อนำเอาน้ำออกสามารถนำลูกโป่งกลับไปใช้ได้อีกครั้ง เป็นต้น

2. การทดสอบกับการตรวจสอบ (testing versus inspection)

การทดสอบ (testing) เป็นการดำเนินการหรือลำดับการดำเนินการด้วยกระบวนการทางกายภาพที่มีวัตถุประสงค์ให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงคุณภาพเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุ ส่วน **การตรวจสอบ (inspection)** เป็นการทดสอบวัสดุเพื่อตรวจวัดว่ามีคุณลักษณะตามที่ต้องการหรือไม่ ดังนั้นทั้งสองกระบวนการนี้แตกต่างกันที่วัตถุประสงค์ คือการทดสอบเป็นการหาข้อมูลเพื่อกำหนดระดับคุณภาพของวัสดุ ในขณะที่การตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมคุณภาพของวัสดุ ตลอดจนการตรวจวัสดุให้เป็นไปตามเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด ทั้งสองวิธีการนี้ไม่มีวิธีการใดดีกว่ากัน หากแต่มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายที่ต่างกันเท่านั้น การเลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งในการหาข้อมูลสมบัติของวัสดุสามารถทำได้ถ้าวิธีการนั้นมีความสะดวก เชื่อถือได้และประหยัด

3. ความแม่นยำ ความถูกต้องและนัยสำคัญของการทดสอบ (precision, accuracy and significance of tests)

ความแม่นยำแสดงถึงความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้ในการทดสอบ ส่วนความถูกต้องแสดงถึงความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง ดังรูปที่ 5.1 ในรูปที่ 5.1 (a) แสดงลูกธนูห้าดอกบนเป้าขนาด 2 นิ้ว ซึ่งมีความแม่นยำมาก สังเกตได้จากลูกดอกที่เกาะกันเป็นกลุ่ม แต่ลูกธนูทั้งหมดไม่เข้าเป้านั่นแสดงว่าไม่มีความถูกต้อง สำหรับรูปที่ 5.1 (b) ลูกธนูทุกดอกเข้าเป้าแต่กระจายอยู่ทั่วทั้งเป้า แสดงว่ามีความถูกต้องแต่ไม่มีความแม่นยำ ในขณะที่รูปที่ 5.1 (c) ลูกธนูมีลักษณะเกาะกลุ่มกันและอยู่ตรงกลางเป้า แสดงว่ามีทั้งความแม่นยำและความถูกต้อง



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงนิยามของความถูกต้องและความแม่นยำ

นัยสำคัญการทดสอบ (test significance) เป็นการวัดขอบเขต (extent) ข้อมูลที่ได้รับตลอดกระบวนการทดสอบที่จะใช้เป็นตัวทำนายกระบวนการการนำวัสดุในแบบเดียวกันไปใช้งาน ถ้าข้อมูลที่ได้รับไม่สามารถใช้ในการทำนายกระบวนการที่แท้จริงของวัสดุในการนำไปใช้งาน ถือว่าการทดสอบไม่มีนัยสำคัญการทดสอบหรือมีน้อย แต่ถ้าข้อมูลที่รวบรวมตลอดการทดสอบไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงกับสถานการณ์ภายใต้เงื่อนไขหนึ่งไม่ได้หมายความว่าการทดสอบนั้นไม่มีนัยสำคัญการทดสอบ ภายหลังการศึกษาอย่างละเอียดเป็นระยะเวลาหนึ่งข้อมูลที่ได้รับจากกรรมวิธีการทดสอบหนึ่งอาจแสดงนัยสำคัญการทดสอบของอีกการทดสอบหนึ่งได้ในลักษณะค่าเทียบเคียง ตัวอย่างเช่น ผลการทดสอบ charpy test ของวัสดุอาจไม่ได้แสดงผลที่เกี่ยวกับความแข็งแรงการล้าของวัสดุ แต่หลังจากการทดสอบ

4. การจัดเก็บข้อมูล (collection data)

การจัดเก็บข้อมูลในการทดสอบวัสดุจะอิงอยู่กับกระบวนการที่ใช้เพื่อการได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็นของวัสดุหรือของชิ้นทดสอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ทดสอบในการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบ และยิ่งกว่านั้นแม้ว่าเป็นกระบวนการที่ดีที่สุดก็สามารถล้มเหลวได้ถ้าผู้ทดสอบไม่ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่กำหนด โดยข้ามบางขั้นตอนเพื่อประหยัดเวลา หรือบันทึกข้อมูลไม่ถูกต้อง ดังนั้นการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เชื่อถือได้จึงต้องใส่ใจและระมัดระวังในขั้นตอนของการจัดเก็บ

ก่อนเริ่มการทดสอบวัสดุผู้วิจัยควรคำนึงถึงหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- สถานที่ที่ทำการจัดเก็บข้อมูล
- เวลาที่ดีสุดในการจัดเก็บข้อมูล
- ผู้ที่ทำการจัดเก็บข้อมูล
- ข้อมูลที่จำเป็นต้องทำการจัดเก็บ

หัวข้อแรกเป็นประเด็นเกี่ยวกับสถานที่ที่ทำการทดสอบ ซึ่งอาจเป็นการทดสอบในสนามจริงหรือในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความจำเป็นในการควบคุมสิ่งแวดล้อม รวมทั้งความเหมาะสมของสถานที่ที่ให้ข้อมูลการทดสอบที่สามารถเชื่อถือได้

นอกจากนั้นต้องพิจารณาเลือกวันเวลาที่ดีที่สุดในการจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็น โดยเลือกวันเวลาที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของช่วงเวลาการใช้งานของวัสดุ ซึ่งต้องสะดวกและประหยัด เลือกบุคคลที่เหมาะสมกับการทดสอบ โดยพิจารณาว่าจำเป็นต้องทำการทดสอบด้วยตนเองหรือควรติดต่อกับห้องปฏิบัติการที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ยิ่งกว่านั้นควรพิจารณาว่าบุคคลใดมีคุณภาพที่สุดในการทำการทดสอบและใครที่มีประสบการณ์ในกระบวนการหรือการดำเนินการทดสอบ จากนั้นใช้ความรู้สึกตัดสินใจว่าสิ่งใดจะสามารถให้ผลลัพธ์ได้ดีที่สุด

ท้ายสุดเขียนร่างข้อมูลที่ควรทำการจัดเก็บ แล้วพิจารณาข้อมูลเหล่านั้นอย่างละเอียดและให้น้ำหนักกับแต่ละข้อมูลที่ได้อย่างมีเหตุมีผล และถ้าจำเป็นให้ทำซ้ำในกระบวนการที่สงสัยเพื่อความมั่นใจในการตัดสินใจแต่ละครั้ง

ความถี่ในการจัดเก็บข้อมูลขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของหัวข้อต่างๆ คือสถานที่ที่ทำการทดสอบอาจเป็นการทดสอบในสนามจริงหรือในห้องปฏิบัติการ ในเรื่องของเวลา เงินทุน และอื่นๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงภายใต้การทดสอบและเครื่องมือที่ผู้ทดสอบจะสามารถนำมาใช้ กรณีที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือที่เหมาะสมอาจนำเครื่องช่วยอื่นๆ มาใช้ได้ แต่ต้องสามารถแปลงข้อมูลได้รับไปอยู่ในรูปที่เหมาะสม แม้ว่าผลการทดสอบที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากกว่าการใช้เครื่องมือที่เหมาะสมข้างต้น แต่ทั้งนี้ผู้การทดสอบควรเลือกใช้ในบางโอกาสเท่านั้น

รายละเอียดการจัดเก็บข้อมูลควรจะหมายความรวมถึงชนิดของข้อมูลที่ถูกจัดเก็บ บุคคลที่ทำการจัดเก็บและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ถ้าใช้เครื่องมือพิเศษหรือทำเพื่อวัตถุประสงค์การทดสอบจำเพาะ ให้รวบรวมรายละเอียดนี้ลงในรายงานด้วย และข้อมูลที่ให้ต้องมากเพียงพอที่บุคคลอื่นจะสามารถจำลองภาพกระบวนการและผลลัพธ์ที่จะได้รับ

ข้อมูลพื้นฐานบางอย่างเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงสถิติและการนำข้อมูลไปใช้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก โดยการอธิบายและการทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติในการทดสอบวัสดุในภาคผนวกเหล่านั้นจะได้กล่าวในหัวข้อต่อๆไป

5. กระบวนการทดสอบ (testing procedures)

การทดสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าสมบัติหรือการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ สิ่งหนึ่งที่น่าสนใจคือการทดสอบเชิงกล สมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมยืดหยุ่น (elastic) และไม่ยืดหยุ่น (inelastic) ของวัสดุภายใต้แรงกระทำ การวัดค่าในเบื้องต้นเกี่ยวกับการทดสอบเชิงกลได้แก่ แรงกระทำ (applied load) กับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำนั้น ซึ่งเรียกว่าแรงเค้น (stress) และความเครียด (strain) ตามลำดับ

การทดสอบโดยทั่วไปจะแบ่งตามกรรมวิธีของการใส่แรงและสภาวะของชิ้นทดสอบในขณะทำการทดสอบ ในการทดสอบเชิงกลมีการใส่แรงเบื้องต้นห้าชนิดคือ แรงดึง (tension) แรงอัด (compression) แรงเฉือน (shear) แรงบิด (torsion) และแรงดัดงอ (flexure) แต่บางครั้งอาจมีแรงในรูปแบบอื่นเกิดขึ้นถ้าแรงเค้นที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการใส่แรงในแบบต่างๆ ดังนี้

- การใส่แรงเบื้องต้นมากกว่าหนึ่งชนิดแรง
- การใส่แรงเบื้องต้นแบบเดียวกันมากกว่าหนึ่งทิศทาง
- การใส่แรงเบื้องต้นมากกว่าหนึ่งชนิดแรงแล้วเกิดผลกระทบขั้นสองที่แตกต่างกันโดยสัมพันธ์กับชนิดของแรงนั้น ทำให้เกิดการกระจายแรงเค้นเฉพาะจุดหรือไม่สม่ำเสมอภายในวัสดุ

นอกจากนั้นควรกำหนดชนิดของแรงที่จะใช้ในการทดสอบ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในกระบวนการทดสอบจริง การทดสอบโดยทั่วไปอาจแบ่งเป็นสามกลุ่มคือการทดสอบแบบสถิต (static) แบบพลวัต (dynamic) และแบบระยะยาว (long-time) ส่วนการเลือกใช้ให้พิจารณารูปแบบการทดสอบที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้มากที่สุด

อุณหภูมิการทดสอบเป็นสภาวะเบื้องต้นของชิ้นทดสอบที่สำคัญระหว่างการทดสอบ โดยสภาวะการทดสอบเบื้องต้นที่สุดคือการทดสอบในบรรยากาศปกติหรือที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากวัสดุส่วนใหญ่จะถูกใช้งานที่อุณหภูมินี้จึงเป็นการประหยัดและคุ้มค่ากว่าเมื่อเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิอื่น ซึ่งมีอยู่สองแบบคือการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกับการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิลดลง ทั้งสองสภาวะนี้ต้องการเครื่องมือพิเศษในห้องปฏิบัติการในการควบคุมอุณหภูมิ ส่วนการทดสอบในสนามจริงสภาวะการทดสอบจะเป็นแบบเดียวกันกับสภาวะที่มีการใช้งานตามสภาวะแวดล้อมที่เป็นอยู่ขณะนั้น ตัวอย่างเช่น การทดสอบเกราะกันความร้อนบนกระสวยอวกาศควรทำการทดสอบแบบสภาวะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบความทนทานของยางรถยนต์บนทะเลทรายควรทำการทดสอบโดยตรงในทะเลทราย เช่นเดียวกันถ้าต้องการหาค่าความเป็นฉนวนของวัสดุฉนวนก็ควรทำในห้องปฏิบัติการหรือในบริเวณ ณ จุดที่ใช้งานจริง

ตัวแปรอื่นๆ ที่สัมพันธ์กับการพัฒนาและการใช้ประโยชน์กระบวนการทดสอบได้แก่ ความชื้น การสั่น กรรมวิธีในการยึดชิ้นงาน หัวจับชิ้นงาน แท่นรองชิ้นงาน การสอบวัดเครื่องมือ (calibration) ความแม่นยำกับความถูกต้อง และบรรยากาศเฉพาะ เช่นบรรยากาศที่มีสภาพกัดกร่อนและบรรยากาศที่มีการพ่นน้ำเกลือ (salt spray) เป็นต้น

การออกแบบหรือการทำความเข้าใจกระบวนการทดสอบควรพิจารณาสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

- คำตอบที่ค้นหาคืออะไร
- การทดสอบแบบไหนที่ช่วยหาคำตอบนั้นได้
- ผลการทดสอบที่ได้สะท้อนกระบวนการที่แท้จริงหรือเปล่า
- อะไรเป็นข้อจำกัดของกระบวนการทดสอบและผู้ทำการทดสอบ
- ระดับความแม่นยำที่ต้องการกับกระบวนการที่สะดวกและประหยัดที่สุด
- ชิ้นงานทดสอบแบบไหนเหมาะสมที่สุดที่จะได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการ
- ต้องทำการทดสอบกี่ครั้งจึงจะได้ผลลัพธ์ที่ครอบคลุมคำตอบที่ต้องการ

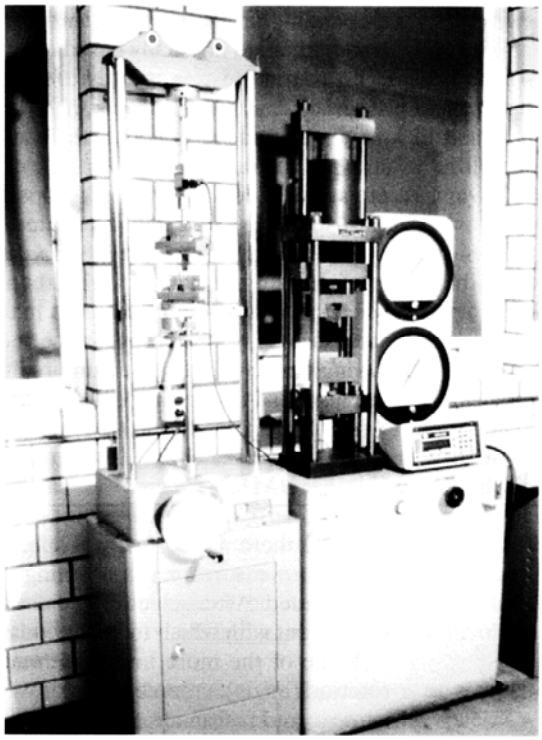
ในทางอุดมคติการทดสอบควรจะครอบคลุมวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เชื่อถือได้และใช้งานได้ในระดับความแม่นยำที่กำหนดรวมทั้งประหยัดเวลาและเงิน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกัน การทดสอบในทางอุดมคติควรกระทำด้วยเหตุผลที่นิยามเป็นอย่างดีกับวัตถุประสงค์เฉพาะหรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งใจไว้ ในการทดสอบควรจะให้ผลที่เหมือนกันทุกครั้ง ผู้ใดก็ตามที่ทำการทดสอบแบบเดียวกันควรจะได้ผลการทดสอบเหมือนกัน ความแม่นยำของการทดสอบและเครื่องที่ใช้ในการทดสอบควรเป็นที่รู้จักและสามารถให้ค่าผลการทดสอบได้ ท้ายสุดการทดสอบควรได้รับการออกแบบที่จะสามารถทำได้ด้วยต้นทุนต่ำสุดทั้งเรื่องของเวลาและเงิน

6. เครื่องทดสอบ (testing machines)

การทดสอบเพื่อหาค่าสมบัติของวัสดุมีหลายการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบขั้นพื้นฐานที่สุดได้แก่ การดึง การอัด การดัดงอ การบิด การกระแทก ความแข็ง การล้าและการคราก แม้ว่าหลายการทดสอบสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย แต่กระบวนการทำงานส่วนใหญ่ไม่ยุ่งยากเป็นแบบธรรมดาทั่วไป ซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป เครื่องมือและกรรมวิธีการทดสอบที่ได้อธิบายในส่วนนี้เป็นแบบทั่วไป ซึ่งเป็นการกล่าวถึงในลักษณะที่เป็นบทนำในเรื่องของแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการใช้ประโยชน์ของเครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวัดแรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบที่เป็นแบบพื้นฐานที่สุดได้แก่เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) โดยเครื่องทดสอบนี้สามารถทำได้หลายการทดสอบด้วยอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบการดึง การอัด การเฉือนและการดัดงอ โดยสามารถทำได้ในหลายช่วงค่าของแรงที่กระทำ ตั้งแต่

เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือส่วนของการใส่แรงกระทำกับชิ้นทดสอบกับส่วนของการวัดแรงที่กระทำด้วยความถูกต้องแม่นยำตามที่กำหนด โดยเครื่องทดสอบส่วนใหญ่จะใช้การขับเคลื่อนทางกลหรือระบบไฮโดรลิค ในการใส่แรงกระทำกับชิ้นทดสอบ ซึ่งสามารถพิจารณารูปแบบของการใส่แรงทั้งสองนี้เป็นแบบเดียวกันกับการใช้แม่แรงยกรถแบบสกรูสมัยก่อน กล่าวคือเมื่อหมุนตัวสกรูแม่แรงจะยกตัวขึ้นและถ้าหมุนส่วนทางจะลดตัวลง ปัจจุบันได้แทนที่แม่แรงสกรูด้วยแม่แรงไฮโดรที่มีการทำงานเป็นระบบปั๊มในการยกแม่แรงและคลายสกรูเปิดวาล์วเพื่อลดแม่แรง แม้ว่าระบบนี้ต้องการการดูแลรักษามากกว่าแต่มีกลไกและใช้งานที่สะดวกกว่า ทั้งสองแบบนี้สามารถทำการทดสอบได้เหมือนกันเพียงแต่มีกรรมวิธีการทำงานที่แตกต่างกันเท่านั้น เครื่องทั้งสองแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machines)

การใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ในการทดสอบแบบต่างๆ จะต้องทำการปรับในหลายส่วน ด้วยการใช้อุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมกับการทดสอบนั้น ซึ่งประกอบด้วยตัวจับรูปลิ่มในการทดสอบแรงดึง บล็อกแท่นการอัดในการทดสอบการดัดงอ หรือบล็อกเฉือนในการทดสอบแรงเฉือน ดังนั้นในลำดับแรกของการทดสอบต้องตรวจว่าได้ใช้อุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมกับการทดสอบ และตรวจว่าเครื่องทดสอบกับอุปกรณ์เสริมต่างๆ รวมทั้งเครื่องวัดการยืด (strainometer) สามารถที่จะทำการทดสอบได้อย่างสมบูรณ์และปลอดภัย

การเลือกเครื่องทดสอบที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- วัตถุประสงค์การทดสอบ
- เครื่องมือที่ประหยัดที่สุด
- ระดับความถูกต้องที่ต้องการ
- เครื่องมือที่สามารถทำการทดสอบและมีความสะดวกในการทดสอบมากที่สุด

ในการทดสอบแบบรายวันจะใช้เครื่องมือที่เป็นมาตรฐานเพื่อให้ได้ค่าการทดสอบที่ถูกต้องและแม่นยำ กฎเกณฑ์ความถูกต้องที่ยอมรับโดยทั่วไปสำหรับเครื่องมือทดสอบจะอยู่ในช่วง 1% (± 0.5%) ของค่าแรงเค้นและความเครียดในช่วงแรงที่กระทำทั้งหมด และเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้นควรทำการศึกษาคุณลักษณะของชิ้นส่วนเครื่องมือต่างๆ ที่นำมาใช้

7. เครื่องมือทดสอบ (test instruments)

เนื่องจากสมบัติของวัสดุมีจำนวนมากดังนั้นจึงต้องมีวิธีการวัดและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแบบต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ หลังจากเลือกข้อมูลหรือสมบัติที่จำเป็นต้องจัดเก็บให้ทำการเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลที่มีความสำคัญในการทดสอบสมบัติได้แก่ ความยาว ระดับการหมุน (มุม) ปริมาตร น้ำหนัก แรง ความดัน เวลา อุณหภูมิ ศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า แม้ว่ามีหลายวิธีในการหาค่าต่างๆ เหล่านี้ แต่การเลือกวิธีทดสอบจะขึ้นอยู่กับสี่หัวข้อที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้

เพื่อการทดสอบที่ถูกต้องจำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับการบันทึกข้อมูลที่ถูกต้องทั้งหมดของเครื่องมือระหว่างการทดสอบ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นความแตกต่างของค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง ซึ่งหาได้จากกระบวนการที่เรียกว่าการสอบวัด (calibration) ด้วยการนำ

การวัดความคลาดเคลื่อนจะสัมพันธ์กับความไว (sensitivity) ของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งเป็นความสามารถในการตรวจจับหรือตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่ทำการวัด โดยเครื่องมือที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแสดงว่ามีความไวมากกว่า และสิ่งสำคัญเกี่ยวกับความไวคือค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถอ่านได้ซึ่งจะสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อน โดยค่าต่ำสุดที่อ่านได้คือค่าน้อยสุดที่เครื่องสามารถบันทึกและเชื่อถือได้ ความคลาดเคลื่อนในการวัดจะขึ้นอยู่กับความไวและการอ่านค่าต่ำสุดของเครื่องมือรวมทั้งความสามารถของผู้ทดสอบในการใช้เครื่องมือ การวัดมักมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นการจดจำและความสามารถในการคาดเดาความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจึงเป็นสิ่งสำคัญในการทดสอบ

โดยทั่วไปจะแบ่งความคลาดเคลื่อนออกเป็นสองกลุ่มได้แก่ ความคลาดเคลื่อนทางกรรมวิธีกับความคลาดเคลื่อนโดยไม่ตั้งใจ (coincidental)

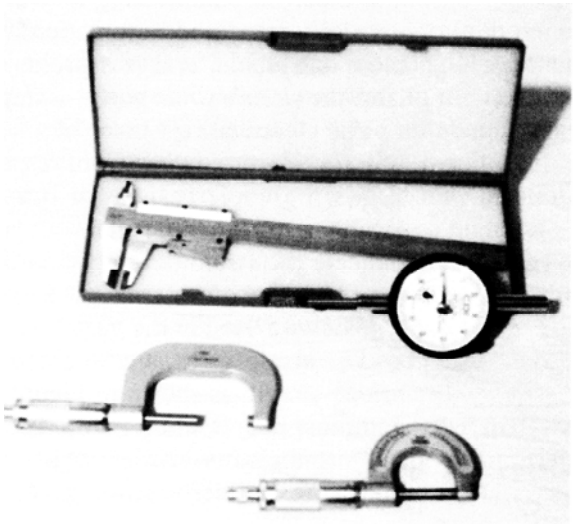
- ความคลาดเคลื่อนทางกรรมวิธีสังเกตได้จากความไม่แน่นอนของค่าที่วัดได้ ยกตัวอย่างเช่นตาชั่งที่ใส่น้ำหนักคงที่ 3 ปอนด์ จากกฎการขยายตัวทางความร้อนจะทำให้ความยาวเข็มเพิ่มขึ้น 1/32 นิ้ว ส่งผลให้เข็มบนหน้าปัดชี้ต่ำลง 0.0005 นิ้ว เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนทางกรรมวิธีอาจเกิดขึ้นได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถหรือประสบการณ์ของผู้ทดสอบ ดังเช่นความสามารถในการอ่านค่าบนเครื่องมือ ข้อจำกัดทางกายภาพ เช่นการหยุดนาฬิกาจับเวลา ณ เวลาที่เหตุการณ์นั้นเกิดขึ้น ความอคติหรือความรู้สึกขัดแย้งของบุคคลต่อผลการทดสอบที่ผู้ทดสอบคิดว่าควรจะเป็นอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนลักษณะนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามควรทำทุกวิถีทางเพื่อให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดในการเขียนผลการทดสอบ

- ความคลาดเคลื่อนโดยไม่ตั้งใจ (coincidental error) เมื่อเกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อผลการทดสอบในลักษณะแบบสุ่ม (random fashion) ซึ่งเป็นลักษณะที่มีแนวโน้มหักล้างกันและกัน ความคลาดเคลื่อนแบบนี้บางครั้งอาจทำให้อ่านค่าได้สูงขึ้นและบางครั้งอ่านค่าได้ลดลง สาเหตุหนึ่งของการเกิดความคลาดเคลื่อนนี้คือการขาดประสบการณ์หรือการไร้ความสามารถของผู้ทดสอบในการเลือกเครื่องมือวัดที่จะสามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ เช่นการวัดระยะห่างระหว่างรถหลายคันเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการวัดระยะในระดับ 0.001 นิ้ว หรือ 0.1 มิลลิเมตร

การทดสอบวัสดุบางครั้งมีความจำเป็นต้องทำการวัดขนาดของชิ้นทดสอบอย่างถูกต้องแม่นยำ โดยการทดสอบเหล่านี้ต้องทำการตรวจสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนด คือการทดสอบชิ้นทดสอบต้องมีค่าอยู่ในช่วงผ่อนปรน (tolerance) ซึ่งเป็นช่วงระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ บ่อยครั้งช่วงผ่อนปรนนี้จะเขียนเป็นค่าบวกลบในรูปของร้อยละหรือค่าปกติ ช่วงผ่อนปรนอาจมีด้านเดียวหรือสองด้านขึ้นอยู่กับสถานการณ์ ช่วงผ่อนปรนด้านเดียว (unilateral tolerance) คือการระบุขนาดให้มีการผ่อนปรนด้านเดียว ยกตัวอย่างเช่น ขนาด 2.500 นิ้ว + 0.001 นิ้ว / -0.000 นิ้ว หรือ 1.095 นิ้ว + 0.000 นิ้ว / - 0.002 นิ้ว ส่วนช่วงผ่อนปรนสองด้าน (bilateral tolerance) เป็นการระบุให้มีการผ่อนปรนสองด้าน เช่นอุณหภูมิ $35^{\circ}C \pm 2^{\circ}$ หรือ 25 ไมล์ + 5 ไมล์ / -3 ไมล์ เป็นต้น

การทดสอบและตรวจสอบวัสดุมีมาตรวัดและเครื่องมือวัดหลายชนิด ตั้งแต่เครื่องมือแบบธรรมดาที่สามารถทำการตรวจสอบได้ในเวลาไม่กี่นาทีจนถึงเครื่องมือที่ซับซ้อน ซึ่งต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการฝึกผู้ใช้งานก่อนที่จะสามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง

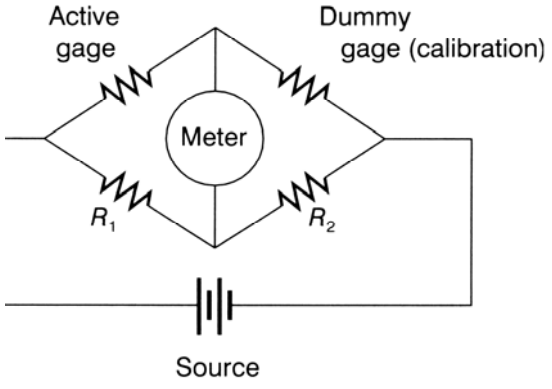
มาตรวัดแบบอื่นที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ calipers, micrometers, สเกลแบบหน้าปัดและวงเวียน เหล่านี้เป็นเครื่องมือพื้นฐานบางส่วนที่ใช้ในการวัด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์วัดละเอียดแบบต่างๆ

นอกจากนี้มีเครื่องมือทางกลรวมทั้งเครื่องมือทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ ทำให้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงรวมทั้งสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในการบันทึกข้อมูล ตัวอย่างมาตรวัดไฟฟ้า เช่น electric strain gauge ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความเครียดที่สำคัญมากในการทดสอบวัสดุ

ความต้านทานของเส้นลวดจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ใต้สภาวะดึง (tension) และมีค่าลดลงถ้าอยู่ใต้สภาวะกด (compression) กล่าวคือเส้นลวดภายใต้แรงดึงจะมีความต้านทานสูงกว่าปกติและเส้นลวดภายใต้แรงกดมีความต้านทานน้อยกว่าปกติ ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดังกล่าวทำให้สามารถบ่งบอกถึงความเครียดที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบ ด้วยการใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานหรือความไวของเส้นลวดเป็นมาตรวัดความเครียดทางไฟฟ้าหรือเป็นเซลล์วัดน้ำหนัก (load cell) ซึ่งความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นลวดที่นำมาใช้ทำเป็นมาตรวัด แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ได้มีค่าน้อยมากดังนั้นมาตรวัดความเครียดจึงจำเป็นต้องมีตัวบ่งชี้ความเครียดหรือวงจรสะพาน wheatstone สมดุลดังแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากมาตรวัดความเครียดให้มีค่าสูงขึ้นจนสามารถนำไปใช้งานได้จริง จากนั้นจะส่งสัญญาณที่ขยายป้อนเข้าในตัวบันทึก ซึ่งจะบันทึกผลลัพธ์ของความเครียดที่สอดคล้องต่อเนื่องกันตลอดการทดสอบ มาตรวัดความเครียดไฟฟ้านี้จะมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ รวมทั้งมีความสะดวกและว่องไวกว่าเครื่องมือวัดความเครียดในรูปแบบอื่น แต่มีราคาแพงกว่า



รูปที่ 5.4 วงจรไฟฟ้าสมดุล

8. การแสดงผลลัพธ์ (presentation of results)

การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบและการวิจัยเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากต้องแลกเปลี่ยนความรู้ที่ได้จากกระบวนการทดสอบนั้นกับการทดสอบและงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้วิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุแบบเดียวกันนั้น นอกจากนั้นข้อมูลต้องได้รับการรายงานอย่างถูกต้อง อยู่ในรูปแบบที่อ่านง่ายและให้ความหมายชัดเจน เนื่องจากการสื่อสารจะเกิดขึ้นได้เมื่อผู้รับและผู้ส่งเข้าใจในข้อความที่สื่อถึงกัน

การเตรียมการรายงานผลการค้นพบในทางเทคนิค โดยทั่วไปมีประเด็นหลักดังนี้คือ

1. ข้อปัญหา
2. วัสดุ กรรมวิธี และกระบวนการที่ใช้ในการทดสอบ
3. การแสดงข้อมูลและผลลัพธ์
4. ข้อสรุปและวิจารณ์
5. ภาคผนวกที่สนับสนุนการค้นพบ

หัวข้อเหล่านี้เป็นหัวข้อทั่วไปในการรายงานผลการทดสอบ ซึ่งเป็นการแบ่งรายละเอียดเนื้อหาว่าเนื้อหาใดควรจัดอยู่ในส่วนใดของรายงาน

1. ข้อปัญหาเป็นส่วนที่อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการทดสอบและแนวทางของผู้ทดสอบในการจัดการกับปัญหา รวมทั้งรูปแบบเฉพาะในการทดสอบ เช่นข้อปัญหาการรับแรงในหลายทิศทางของวัสดุ เป็นต้น

2. วัสดุ กรรมวิธีและกระบวนการทดสอบเป็นหัวข้อที่กล่าวถึงกรรมวิธีการทดสอบวัสดุ รวมถึงสภาวะการทดสอบ ลักษณะชิ้นทดสอบ อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ และกระบวนการที่ใช้ระหว่างทำการทดสอบ โดยปกติจะอิงกับมาตรฐาน ASTM หรือมาตรฐานอื่นๆ ในแบบเดียวกันนี้

3. การแสดงข้อมูลและผลลัพธ์ อาจแสดงโดยการพล็อตข้อมูลลงบนกระดาษกราฟด้วยหน่วยที่เหมาะสม หรือแสดงในรูปของตารางที่จะสามารถเข้าใจได้อย่างชัดเจน ตารางกราฟ

4. การสรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ โดยทั่วไปประกอบด้วยสิ่งที่ค้นพบจากการทดลองหรือการทดสอบ และข้อสรุปประเด็นสำคัญ นอกจากนั้นในส่วนนี้ควรมีการวิจารณ์ส่วนที่คลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกี่ยวเนื่องกันระหว่างการทดสอบรวมทั้งการแสดงความคิดเห็น

5. ภาคผนวกเป็นส่วนเสริมการรายงานผลการทดสอบให้สมบูรณ์หรือชัดเจนยิ่งขึ้น หรืออาจเป็นส่วนที่ไม่เหมาะสมที่จะรวมเข้ากับการรายงานการทดสอบส่วนอื่นๆ

ตัวอย่างการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า

หัวข้อเรื่องการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า 1020 cold drawn steel

บทนำ

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการแสดงถึงวิธีการรายงานผลการทดสอบ ข้อมูลในการทดสอบโดยการรายงานการทดสอบจะแสดงไว้ในส่วนที่สอง และรูปแบบการรายงานการทดสอบนี้สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในการรายงานผลการทดสอบต่อไป

วัตถุประสงค์

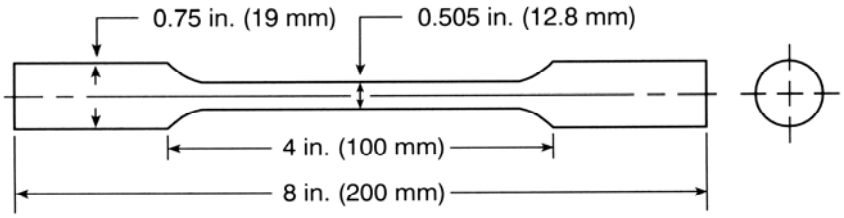
เพื่อทดสอบความแข็งแรงและสมบัติของชิ้นทดสอบ โดยการสังเกตพฤติกรรมชิ้นทดสอบภายใต้แรงดึง และเพื่อศึกษาลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบ ณ จุดแตกหัก

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องทดสอบแรงดึง
2. อุปกรณ์วัดระยะยืด (extensometer)
3. เครื่องมือวัดละเอียด micrometer หรือ calipers
4. อุปกรณ์วัดสองขา (dividers)

5. แว่นตานิรภัย

ชิ้นทดสอบ



ชิ้นทดสอบแรงดึงแบบแท่งกลมปลายเรียบ

วิธีการทดสอบ

1. วัดและบันทึกพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ
2. ทำเครื่องหมายกำหนดช่วงระยะทดสอบ (gauge length) ยาว 2 นิ้ว บนชิ้นทดสอบ
3. เลือกหัวจับชิ้นงานที่เหมาะสมและยึดเข้ากับเครื่องทดสอบ
4. เลื่อนหัวจับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในการยึดชิ้นทดสอบ
5. เซตน้ำหนักกดเท่ากับศูนย์
6. ยึดชิ้นทดสอบเข้ากับหัวจับชิ้นงานและตรวจให้แน่ใจว่าชิ้นงานถูกยึดอย่างแข็งแรงถูกต้องเหมาะสม
7. เลื่อนหัวจับชิ้นงานด้านบนขึ้นเล็กน้อยพอตึง
8. ติดอุปกรณ์วัดระยะยืดเข้ากับเครื่องทดสอบและชิ้นทดสอบ
9. ใส่แรงดึงกับชิ้นทดสอบด้วยอัตราประมาณ 5000 lb/min.
10. เมื่อชิ้นงานเกิดการจำนนให้นำอุปกรณ์วัดระยะยืดออกแล้วแทนที่ด้วยอุปกรณ์วัดสองขา

11. ให้แรงดึงต่อเนื่องไปจนชิ้นทดสอบแตกหักพร้อมบันทึกค่าความแข็งแรงสูงสุดและความแข็งแรงแตกหัก
12. วัดและบันทึกระยะทดสอบสุดท้ายกับพื้นที่หน้าตัดสุดท้ายของชิ้นทดสอบ

ข้อมูลการทดสอบ

วัสดุ : 1020 cold drawn steel วันที่ :

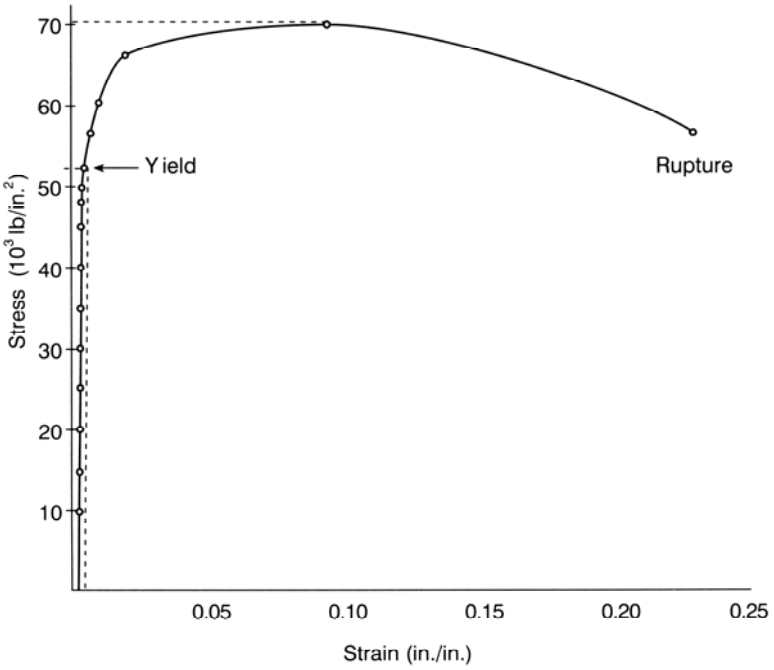
เส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น : 0.505 นิ้ว ระยะทดสอบ : 2.00 นิ้ว

การอ่านค่า	น้ำหนักดึง (lb)	แรงเค้น (lb/in.^{2})	ระยะยืด (in.)	ความเครียด (in./in.)
1	1000	5100	0.0004	0.0002
2	2000	10200	0.0008	0.0004
3	3000	15300	0.0010	0.0006
4	4000	20400	0.0014	0.0008
5	5000	25500	0.0018	0.0009
6	6000	30600	0.0022	0.0011
7	7000	35700	0.0025	0.0012
8	8000	40800	0.0029	0.0014
9	9000	45900	0.0033	0.0017
10	9500	48000	0.0035	0.0018
11	10000	50500	0.0037	0.0019
12	10500	53000	0.0042	0.0021
13	11000	56000	0.0100	0.005
14	12000	61100	0.0160	0.008
15	13000	66300	0.0260	0.013
16	14000	72000	0.0620	0.031
17	11800	60000	0.4000	0.250

แตกหัก

- ความแข็งแรงจำนน 0.2 % ออฟเซต : 52750 psi
- ขีดจำกัดแบบสัดส่วน : 45500 psi
- ความแข็งแรงสูงสุด : 68000 psi
- ความแข็งแรงแตกหัก : 60000 psi

ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบ



กราฟตัวอย่างการทดสอบแรงดึง

ข้อมูลจากกราฟ

- ความแข็งแรงจำนน = 53000 lb/in.^{2}
- ความแข็งแรงดึงสูงสุด = 70500 lb/in.^{2}
- ความแข็งแรงแตกหัก = 60000 lb/in.^{2}
- ขีดจำกัดแบบสัดส่วน = 50000 lb/in.^{2}

การคำนวณ

ร้อยละการลดลงพื้นที่หน้าตัด $= \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 = 37\%$

ร้อยละการยืด (% elongation) $= \frac{l_0 - l_f}{} \times 100 = 15\%$

E (modulus of elastic) $= \frac{\sigma}{\varepsilon}^{l_0} = \frac{50100}{0.0018} = 2.8 \times 10^7 \text{ lb/in.}^2$

การบันทึกข้อมูลจะสัมพันธ์กับแรงกระทำโดยการบันทึกข้อมูลที่ทุกๆ 1000 lb จากข้อมูลการทดสอบที่ได้สามารถนำไปพล็อตกราฟแรงเค้นความเครียดดังรูปข้างต้น

ผลการทดสอบ

ในส่วนนี้เป็นความพยายามที่จะตอบคำถามที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ ตัวอย่างคำถามอาจประกอบด้วย

1. ขนาดและรูปทรงของชิ้นทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM หรือไม่
2. กระบวนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM หรือไม่
3. ผลการทดสอบของวัสดุนี้เป็นไปตามที่คาดหวังไว้หรือไม่ เพราะเหตุใด
4. ในระหว่างการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนอะไรบ้าง และมีข้อควรระวังเพื่อลดความคลาดเคลื่อนนั้นได้อย่างไร
5. พิจารณาหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้
   - Elastic limit
   - Proportion limit
   - Yield point
   - Yield strength
   - Ultimate strength
   - Modulus of elasticity
   - Percent elongation
   - Percent reduction in area
   - Nature and type of fracture

9. การเลือกวิธีทดสอบ (test selection)

การพิจารณาสมบัติของวัสดุให้ตรงกับสภาวะที่ต้องนำไปใช้งานเป็นสิ่งสำคัญ เช่นเดียวกับการหาวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในการวัดสมบัติให้ได้ค่าอย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นสิ่งสำคัญในการทดสอบวัสดุต้องพิจารณาเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมและต้องเลือกใช้กระบวนการทดสอบมาตรฐานที่สอดคล้องกัน บ่อยครั้งการทดสอบหนึ่งสามารถบ่งบอกถึงสมบัติอื่นในทางอ้อม เช่นความแข็งบ่อยครั้งใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความเหนียวของวัสดุเป็นต้น

การเลือกวิธีและกระบวนการทดสอบที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางกลที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุ จะเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของวัสดุได้แก่ สมบัติทางไฟฟ้า ความเป็นแม่เหล็ก สมบัติทางแสงและทางความร้อน ดังตารางที่ 5.1

สมบัติ	รายละเอียด
สมบัติทั่วไป	ความหนาแน่น ความพรุนตัว ปริมาณความชื้น โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค
ทางเคมี	ส่วนประกอบ ความเป็นกรดด่าง (pH) ความต้านทานการกัดกร่อน และความทนทานต่อสภาวะอากาศ
ทางเคมีฟิสิกส์	การขับและดูดซับของเหลว การหดและขยายตัวจากความชื้นในอากาศ
ทางกล	ความแข็งแรงได้แก่ ความแข็งแรงดึง อัด เฉือน บิด และงอ รวมทั้งสมบัติการกระแทก และความทนทานต่างๆ คือ stiffness, toughness, elasticity, plasticity, ductility และความแข็ง
ทางความร้อน	ความร้อนจำเพาะ การขยายตัวทางความร้อน และการนำความร้อน
ทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก	การนำไฟฟ้า การแผ่กระจายของอำนาจแม่เหล็ก และสภาพกัลวานิก
ทางเสียง	การส่งผ่านเสียง การสะท้อนเสียง และการดูดซับเสียง
ทางแสง	สี การทะลุผ่านของแสง และการสะท้อนแสง

ตารางที่ 5.1 สมบัติต่างๆ ของวัสดุ

สมบัติทางเคมีคือสิ่งที่เป็นผลหรือสัมพันธ์กับโครงสร้างของวัสดุและรูปแบบต่างๆที่เกิดจากธาตุผสมอื่นๆ ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางเคมีจึงไม่อาจทำได้ในทันทีทุกครั้งและมักต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากบ่อยครั้งการทดสอบสมบัติทางเคมีต้องทำลายชิ้นทดสอบ สมบัติทางเคมีที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้แก่ โครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างผลึก และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี กระบวนการทดสอบสมบัติดังกล่าวสามารถหาได้ในหนังสือเคมีวิเคราะห์

สมบัติทางกายภาพเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างวัสดุในรูปพลังงานแบบต่างๆกับสถานการณ์ต่างๆ พฤติกรรมทางกายภาพของวัสดุขึ้นอยู่กับโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงตัวของอะตอม และโครงสร้างผลึกของวัสดุ โครงสร้างอะตอมโดยเฉพาะ valence shells เป็นตัวกำหนดว่าวัสดุมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำ หรือว่าเป็นฉนวน ส่วนการจัดเรียงอะตอมและโครงสร้างผลึกเป็นตัวช่วยกำหนดสมบัติทางแสงและแม่เหล็กของวัสดุ สีเป็นสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่นและมวลเป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุเช่นกัน สมบัติทางกายภาพหลายอย่างสามารถทำการตรวจวัดได้โดยไม่ต้องทำลายวัสดุ โดยสมบัติต่างๆที่สามารทำการตรวจวัดได้แก่ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (coefficient of linear expansion) ความหนาแน่น (density) ความเป็นฉนวน (dielectric strength) ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) จุดหลอมเหลว (melting point) ดัชนีหักเหแสง (refractive index) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) และการนำความร้อน (thermal conductivity) โดยมีการทดสอบเฉพาะในแต่ละแบบที่เป็นมาตรฐานเพื่อการนำไปใช้งาน เช่นการทดสอบในงานวิศวกรรมนิวเคลียร์ซึ่งเป็นการตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่การทดสอบอัตราการดูดซับรังสีนิวเคลียร์ เป็นต้น การแตกหักจากการรับรังสีเกินขนาด ความสามารถในการดูดซับรังสี และสมบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งการทดสอบเหล่านี้สามารถหาได้ในคู่มือความปลอดภัยทางนิวเคลียร์และวิศวกรรมนิวเคลียร์ ส่วนเนื้อหาในเล่นนี้จะกล่าวถึงการทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไป

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น คืออัตราการยืดของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะแสดงในหน่วยของความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (in./in.-^{o}F หรือ cm/cm. ^{o}C) ข้อมูลนี้มีความสำคัญเมื่อวัสดุต่างชนิดกันเชื่อมต่อกันแล้วได้รับความร้อน บ่อยครั้งที่วัสดุ

ความหนาแน่น คือน้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยปริมาตร กล่าวคือวัสดุที่มีน้ำหนักมากกว่าเทียบที่ปริมาตรเดียวกันจะมีความหนาแน่นสูงกว่า

ความเป็นฉนวน คือความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดหรือค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัสดุฉนวนสามารถทนทานได้ในช่วงเวลาที่กำหนดโดยไม่ปรากฏสัญญาณของการแตกหัก สมบัตินี้มีความสำคัญสำหรับวัสดุ capacitors

การนำความร้อน คืออัตราการไหลของความร้อนต่อหน่วยเวลาในวัสดุภายใต้สภาวะคงที่เทียบกับหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยอุณหภูมิในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ ซึ่งเป็นนิยามของสมบัติการถ่ายเทความร้อน *การถ่ายเทความร้อน (heat transfer)* คือความสามารถของวัสดุในการนำความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปสู่อีกบริเวณหนึ่ง โดยมีหน่วยเป็น $Btu/h/ft^2$ หรือ W/m.K (วัตต์ต่อเมตรองศาเคลวิน)

ความต้านทานไฟฟ้า เป็นส่วนกลับของการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนของวัสดุซึ่งมีความสำคัญเมื่อวัสดุถูกกำหนดให้นำไปใช้เป็นตัวนำหรือฉนวนไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าสามารถหาค่าได้โดยการวัดอัตรากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งของวัสดุตามความยาวที่กำหนด หน่วยสำหรับความต้านทานไฟฟ้าคือไมโครโอห์มเซนติเมตร ($\mu\Omega$.cm) หรือ โอห์มเมตร (Ω.m) การนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้า ค่าการนำและความต้านทานไฟฟ้าใช้เป็นตัวแยกว่าเป็นวัสดุนำไฟฟ้า กึ่งตัวนำหรือฉนวน

จุดหลอมเหลว คืออุณหภูมิที่ทำให้วัสดุที่เป็นของแข็งหลอมตัวไปอยู่ในรูปของเหลว หรืออุณหภูมิที่ทำให้วัสดุเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็งเมื่อลดอุณหภูมิ และบางกรณีจุดหลอมเหลวถูกกำหนดในลักษณะเป็นช่วงของอุณหภูมิ

ดัชนีหักเห เป็นสมบัติที่เกี่ยวกับความเร็วของแสงในสุญญากาศเทียบกับความเร็วของแสงในวัสดุอื่น และแสดงในรูปของอัตราส่วน

ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างมวลของวัสดุแข็งหรือวัสดุเหลวเทียบกับมวลของน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน

ความร้อนจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหนึ่งองศา เทียบกับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำหนึ่งมวลเท่ากันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหนึ่งองศา

ความเป็นแม่เหล็ก วัสดุจะมีความเป็นแม่เหล็กถาวร เฟอโรแมกเนติก พาราแมกเนติก หรือไม่มีความเป็นแม่เหล็ก ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุในการยอมรับอำนาจแม่เหล็ก สมบัติเช่น coercivity, hysteresis, permeability และ retentivity ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุในการทำให้มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก ปกติหนังสือทางไฟฟ้าหรือทางฟิสิกส์ที่ดีจะมีการอธิบายสมบัติและระดับของความเป็นแม่เหล็กของวัสดุ

สมบัติดังกล่าวข้างต้นเป็นสมบัติพื้นฐานบางส่วนทางฟิสิกส์ของวัสดุ สมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างอะตอม การเรียงตัวของอะตอมและโครงสร้างผลึก ซึ่งมีความสำคัญในงานวิศวกรรม แต่บ่อยครั้งถูกบดบังความสำคัญจากสมบัติทางกลที่มีการใช้งานมากกว่า

10. สรุป (summary)

ในการศึกษาวัสดุและการทดสอบวัสดุไม่ใช่แนวคิดใหม่ มนุษย์มีการใช้งานวัสดุมาช้านานแต่กรรมวิธีการศึกษาวัสดุในแนวใหม่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มมีการพัฒนาวิธีการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ และตั้งแต่นั้นได้มีการพัฒนาการทดสอบเรื่อยมา ทำให้วิทยาศาสตร์ด้านวัสดุและการทดสอบวัสดุมีความสำคัญมากขึ้น

การทดสอบวัสดุเกี่ยวข้องกับการบ่งชี้สมบัติต่างๆของวัสดุ ตลอดจนการกำหนดกระบวนการทดสอบต่างๆที่ดี โดยกระบวนการทดสอบเหล่านั้นต้องเป็นไปด้วยความถูกต้องและแม่นยำ ความสำคัญของการทดสอบคือการที่สามารถคาดเดาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อนำไปใช้งาน

การจัดเก็บข้อมูลจะอิงกับกระบวนการหรือการดำเนินการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลของวัสดุหรือของชิ้นทดสอบ ความสามารถของผู้ทำการทดสอบในการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด ในการติดตามตรวจวัดผลกระทบการจัดเก็บข้อมูล และแม้ว่าเลือกกระบวนการ

ก่อนเริ่มทำการทดสอบผู้ทดสอบควรคำนึงถึงหัวข้อต่อไปนี้

- สถานที่ที่ทำการจัดเก็บข้อมูล
- เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการจัดเก็บข้อมูล
- ผู้ที่ทำการจัดเก็บข้อมูล
- ข้อมูลที่จำเป็นต้องทำการจัดเก็บ

การทดสอบวัสดุเกี่ยวข้องกับวิธีการวัดหรือปริมาณของค่าที่แสดงสมบัติต่างๆของวัสดุ ส่วนสมบัติทางกลจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมการยืดหยุ่นหรือไม่ยืดหยุ่นของวัสดุภายใต้แรงกระทำ การตรวจวัดค่าเบื้องต้นในการทดสอบทางกลได้แก่การวัดค่าแรงกระทำและผลกระทบของแรงที่กระทำนั้น ซึ่งเรียกว่าแรงเค้นกับความเครียดตามลำดับ นอกจากนั้นยังมีค่าตัวแปรอื่นๆที่สำคัญได้แก่ ความยาว ระดับการหมุน ปริมาตร มวลหรือน้ำหนัก แรง แรงดัน เวลา อุณหภูมิ ศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน

การทดสอบอาจแบ่งออกได้เป็นแบบสถิต (static test) แบบพลวัต (dynamic test) และแบบระยะยาว (long-time test) โดยปกติการทดสอบจะทำในสภาวะบรรยากาศทั่วไปหรือที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากประหยัดและมีประสิทธิภาพสูง นอกจากนั้นสามารถทำการทดสอบในสภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทั้งในแบบเพิ่มอุณหภูมิหรือลดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง โดยทั้งสองสภาวะนี้ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในห้องปฏิบัติการหรือทำการทดสอบในสภาวะหรือในสถานที่ที่มีการใช้งานจริง นอกจากนี้ยังมีสภาวะอื่นๆอีกที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหรือกระบวนการทดสอบ ได้แก่ ความชื้น การสั่น กรรมวิธีการจับยึดชิ้นทดสอบ การสอบวัดเครื่องมือทดสอบ ความถูกต้องและความแม่นยำ และบรรยากาศแบบพิเศษต่างๆ เช่น บรรยากาศกัดกร่อนและแบบพ่นน้ำเกลือ เป็นต้น

การทดสอบสมบัติทางกลเบื้องต้นได้แก่การทดสอบแรงดึง อัด บิด พับงอ การกระแทก ความแข็ง การล้า และการคราก ในทางอุดมคติการทดสอบควรมีลักษณะตรงตามวัตถุประสงค์ เชื่อถือได้ ได้ผลลัพธ์เป็นคำตอบของโจทย์ มีความแม่นยำตามที่กำหนด ประหยัดทั้งเวลาและต้นทุน

ความแตกต่างของค่าที่อ่านได้บนเครื่องมือกับค่าที่แท้จริงในการตรวจวัดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการตรวจวัดนี้สามารถหาได้ด้วยกระบวนการการสอบวัดเครื่องมือ โดยความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดจะสัมพันธ์กับความว่องไวของเครื่องมือ ซึ่งเป็นความสามารถในการตรวจจับและตอบรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ กล่าวคือเครื่องมือที่ว่องไวกว่าจะสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

โดยทั่วไปความคลาดเคลื่อนมีสองประเภทคือความคลาดเคลื่อนเชิงกรรมวิธีกับความคลาดเคลื่อนโดยไม่ตั้งใจ ความคลาดเคลื่อนเชิงกรรมวิธีค่าที่วัดได้จะสูงขึ้นหรือลดลงอย่างคงที่ ส่วนความคลาดเคลื่อนโดยไม่ตั้งใจเป็นเหตุการณ์ที่เกิดในลักษณะสุ่มซึ่งส่งผลกระทบต่อผลการทดสอบในแบบสุ่ม โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในทางบวกและลบมีแนวโน้มหักล้างกันและกัน และความคลาดเคลื่อนโดยไม่ตั้งใจไม่สามารถแก้ไขให้ถูกต้องได้

ช่วงผ่อนปรน (tolerance) คือค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ผู้ทำการทดสอบสามารถยอมรับได้ บ่อยครั้งที่เขียนค่าช่วงผ่อนปรนเป็นค่าบวกลบในลักษณะร้อยละหรือเป็นค่าตัวเลขปกติ

มาตรวัดที่ใช้ในการทดสอบวัสดุประกอบด้วย มาตรวัดตะขอ (snap gauge) มาตรวัดวงแหวน (ring gauge) มาตรวัดสลัก (plug gauge) คาลิบเปอร์ (caliper) ไมโครมิเตอร์ เครื่องวัดแบบหน้าปัด (dial indicator) และวงเวียน (divider) เหล่านี้เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งมาตรวัดอิเล็กโทรนิกโดยเฉพาะมาตรวัดการยืดด้วยไฟฟ้าซึ่งถือเป็นอุปกรณ์สำคัญในการทดสอบวัสดุ

การตีพิมพ์ผลการทดสอบเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากเป็นการแลกเปลี่ยนสิ่งที่ค้นพบกับบุคคลอื่น เพราะฉะนั้นการรายงานทั้งในส่วนของความหมายและรูปแบบต้องชัดเจน ซึ่งการรายงานสิ่งที่ค้นพบอาจดำเนินตามรูปแบบที่ใช้กันทั่วไปดังนี้

1. ชี้แจงที่มาของปัญหา
2. อธิบายวัสดุ กรรมวิธีและกระบวนการที่ใช้ในระหว่างการทดสอบ
3. แสดงข้อมูลและผลการทดสอบ
4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ
5. ภาคผนวกเพื่อสนับสนุนสิ่งที่ค้นพบ

11. คำถามท้ายบท (Questions)

1. อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการทำการทดสอบวัสดุ
2. เพราะเหตุใดการทดสอบวัสดุต้องทำการสอบเทียบ (standardize)
3. อธิบายความแตกต่างระหว่างความถูกต้อง (accuracy) กับความแม่นยำ (precision) และอธิบายว่าทั้งสองเกี่ยวข้องกับการทดสอบวัสดุอย่างไร
4. นัยการทดสอบ (test significance) เกี่ยวข้องกับการทดสอบวัสดุอย่างไร
5. ยกตัวอย่างสภาวะหรือเงื่อนไขรวมทั้งสิ่งที่มีอิทธิพลที่อาจทำให้ผลการทดสอบเปลี่ยนไป
6. ยกตัวอย่างสมบัติทางกลของวัสดุที่ทำการทดสอบโดยทั่วไปมาห้าอย่าง
7. ทดลองทำการวัดความยาวและความกว้างของห้องด้วยกรรมวิธีต่างๆ กัน
   7.1 วัดด้วยการก้าวเท้าชิดไปข้างหน้า
   7.2 วัดด้วยไม้บรรทัดขนาด 1 ฟุต
   7.3 วัดด้วยสายวัด

   แล้วหาว่ากรรมวิธีต่างๆ เหล่านี้มีความถูกต้อง ความแม่นยำของข้อมูลที่ได้เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไรบ้าง เสร็จแล้วให้วิเคราะห์ว่าในแต่ละกรรมวิธีมีตัวแปรอะไรบ้างที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดสอบ และจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัดได้อย่างไร