

รายงานผลการเข้าอบรม

Mechanical Testing of Plastics: Basic & Data Interpretation 2014

จัดโดย

บริษัท จีทีโอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
ณ โรงแรมดุสิตปรีนเซส กรุงเทพฯ
วันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2557

ผู้จัดทำ

รองศาสตราจารย์สุภณี เรียบเลิศหิรัญ
อาจารย์กรรมการ ยี่มนาค

ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาบุคลากร
ประจำปีงบประมาณ 2557

รายงานการไปฝึกอบรม ดูงาน ประชุม / สัมมนา
ตามระเบียบมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช ว่าด้วยการให้ทุนฝึกอบรม ดูงาน
และประชุมทางวิชาการแก่ข้าราชการมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช

1. ผู้เข้าร่วมสัมมนา

- | | | |
|--|------------------------|------------|
| 1.1 ชื่อ นางสาวศุภณีย์ | นามสกุล เรียบเลิศหิรัญ | อายุ 57 ปี |
| ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ | ระดับ 9 | |
| สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | โทร 8191 - 3 | |
| 1.2 ชื่อ นางสาวกรรณิการ์ | นามสกุล ยี่มนาค | อายุ 31 ปี |
| ตำแหน่ง อาจารย์ | ระดับ - | |
| สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | โทร 8191 - 3 | |

ไป ฝึกอบรม

เรื่อง Mechanical Testing of Plastics: Basic & Data Interpretation 2014

ณ โรงแรมดุสิตปรีนเซส จัดโดย บริษัท จีทีโอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

ตั้งแต่วันที่ 6 มีนาคม 2557 ถึงวันที่ 6 มีนาคม 2557

รวมระยะเวลา 1 วัน

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการไปฝึกอบรม ดูงาน ประชุม และสัมมนา

รายงานการสัมมนา

2.1 เรื่อง Mechanical Testing of Plastics: Basic & Data Interpretation 2014

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมฝึกอบรม

- 2.1.1 มีความเข้าใจสมบัติทางกลของพลาสติกที่จำเป็น
- 2.1.2 สามารถเลือกวิธีทดสอบให้เหมาะสมกับพลาสติก
- 2.1.3 เรียนรู้วิธีทดสอบและเครื่องมือในการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก
- 2.1.4 สามารถวิเคราะห์ผลเบื้องต้นในการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก

2.2 ผู้เข้าร่วมฝึกอบรม จำนวน 32 คน

2.3 วิธีการฝึกอบรม

ฟังการบรรยายโดยวิทยากร 1 ท่าน คือ ดร.จินตมัย สุวรรณประทีป ตำแหน่ง นักวิจัยและหัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติทางกล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

2.4 เข้าร่วมฝึกอบรม ในฐานะ ผู้เข้าร่วมอบรม

2.5 เนื้อหาในการฝึกอบรม ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

1. หลักการพื้นฐานของการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก

สมบัติทางกลของพลาสติกมีความสำคัญมากต่อการนำพลาสติกไปใช้งานต่อ เนื่องจากการนำพลาสติกไปใช้งานใดๆก็ตาม ย่อมต้องมีการรับแรงกระทำไม่มากนัก ซึ่งผู้ทำการผลิตหรือทำการออกแบบพลาสติกนั้นๆ ต้องทราบถึงสมบัติทางกลของเพื่อเลือกไปใช้กับงานได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

จุดประสงค์หลักๆ ในการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก ได้แก่

1. เพื่อการควบคุมคุณภาพ
2. เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบ
3. เพื่อตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องในกระบวนการผลิต
4. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบและเลือกใช้วัสดุ
5. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำนายประสิทธิภาพในการใช้งาน
6. เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัยและพัฒนาวัสดุชิ้นใหม่
7. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทำวิศวกรรมย้อนรอย

การทดสอบสมบัติทางกลของการสัมมนาครั้งนี้ เป็นการทดสอบสมบัติทางกลระยะสั้น คือใช้เวลาในการทดสอบไม่มากนัก ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรง และการทดสอบความแกร่ง โดยมีการแบ่งศึกษาออกเป็น 3 ลักษณะคือ การศึกษาความเค้นและความเครียด การทดสอบความแข็ง และการทดสอบความทนทานต่อการกระแทก

2. การศึกษาความเค้นและความเครียด

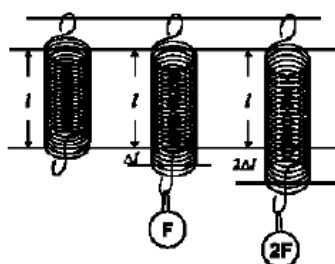
การศึกษาความเค้นและความเครียด (stress and strain test) เป็นการให้แรงกระทำต่อวัสดุ และศึกษาว่าวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งการทดสอบประเภทนี้จะรู้จักกันในชื่อของ การทดสอบแรงดึง (tensile test) การทดสอบแรงอัด (compression test) การทดสอบแรงดัดงอ (flexural test) การทดสอบแรงเฉือน (shear test) หรือการทดสอบแรงบิด (torsion test) ซึ่งการทดสอบในแต่ละประเภทนั้นขึ้นอยู่กับการให้แรงในทิศทางใด

โดยความเค้น คือเมื่อมีแรงภายนอกที่กระทำผ่านจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะมีแรงต้านภายใน โดยมีขนาดรวมแล้วเท่ากับแรงภายนอก ส่วน ความเครียดเป็นการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อมีแรง ภายนอกมากระทำกับวัตถุ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อขนาดเดิม ซึ่งค่าความเค้นและความเครียด สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความเค้น (stress)} = \frac{\text{แรง (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น (A}_0\text{)}}$$

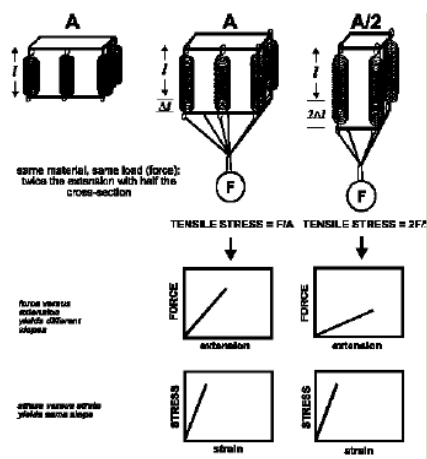
$$\text{ความเครียด (strain)} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป } (\Delta L)}{\text{ความยาวเริ่มต้น (L}_0\text{)}}$$

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุส่วนใหญ่ จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างยาวขึ้นหรือสั้นลงไปตามแรงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น การดึงสปริงด้วยแรง F จะทำให้สปริงยืดออกมามีค่า ΔL แต่เมื่อดึงด้วยแรง $2F$ สปริงจะยืดตัวออกมามีค่า $2\Delta L$ โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในวัสดุนั้น สามารถเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้ตามกฎของฮุก



$$\text{แรง} = \text{ค่าคงที่ (stiffness)} \times \text{การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง}$$

แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่หน้าตัดเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จะทำให้ความเค้นและความเครียดของวัสดุที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปด้วย ซึ่ง โชมส์ ยัง ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียดดังนี้



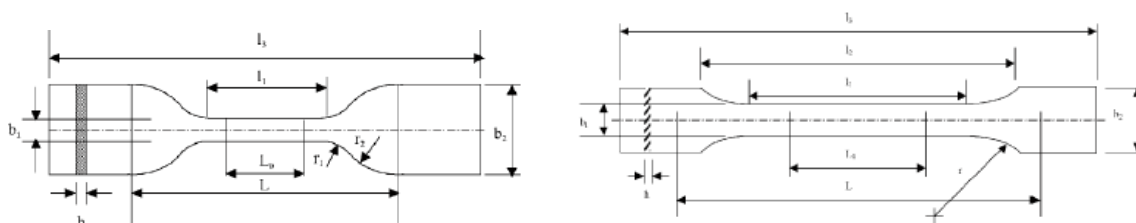
$$\text{ความเค้น} = \text{ค่าคงที่ (modulus)} \times \text{ความเครียด}$$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดนี้ ความชันที่ได้จะเรียกว่าเป็นค่ามอดูลัสของยัง (Yong's modulus)

2.1 วิธีการทดสอบ

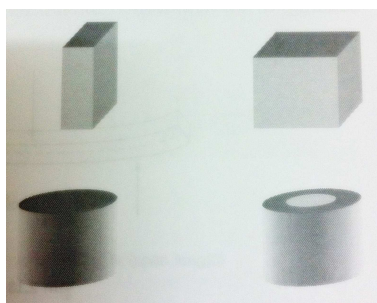
ในการทดสอบแรงที่กระทำต่อวัสดุแบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงคดงอ ดังนี้

2.1.1 การทดสอบแรงดึง (tensile) เป็นการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ โดยในการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้เกิดแรงดึงในชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะถูกตัดให้มีลักษณะคล้ายที่ยกน้ำหนัก (dumbbell) เพื่อให้มีส่วนคอดตรงกลาง เพื่อให้เกิดแรงดึงสม่ำเสมอต่างจากตรงบริเวณปลายที่จะมีขนาดใหญ่กว่าเพื่อเป็นพื้นที่ในการจับยึด แต่สำหรับวัสดุที่มีลักษณะบางเช่น ฟิล์มพลาสติกจะนิยมตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในทางทฤษฎีของการทดสอบต้องการให้เกิดจุดแตกหักบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบซึ่งเป็นส่วนที่รับแรงดึง แต่ในทางปฏิบัติอาจมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการแตกหัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การเตรียมชิ้นงาน การติดตั้งการทดสอบ เครื่องหรืออุปกรณ์ทดสอบ เป็นต้น



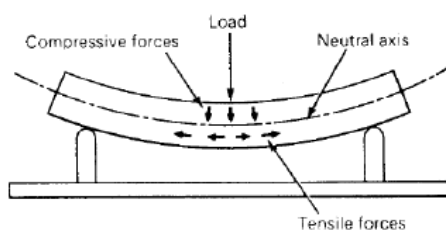
ภาพที่ 1 ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่เป็นรูปคล้ายที่ยกน้ำหนัก

2.1.2 การทดสอบแรงอัด (compression) เป็นการทดสอบที่มีลักษณะการทดสอบคล้ายกับการทดสอบแรงดึง แต่ต่างกันที่ลักษณะของแรงที่ใช้ในการทดสอบจะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อสร้างแรงอัดให้เกิดขึ้นในชิ้นงาน โดยทั่วไปลักษณะของชิ้นงานทดสอบจะถูกตัดเป็น 4 แบบ ได้แก่ ปริซึมหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ปริซึมหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทรงกระบอกตัน และท่อทรงกระบอก ซึ่งเวลาทดสอบบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสแผ่นกดจะต้องขนาน เพื่อให้เกิดแรงอัดตรงศูนย์กลางของชิ้นงาน

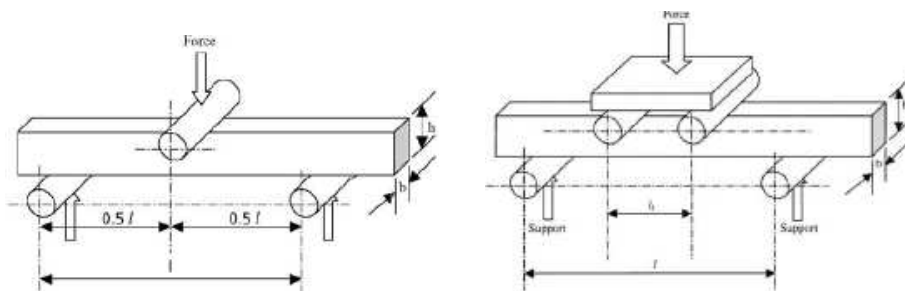


ภาพที่ 2 ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงอัด

2.1.3 การทดสอบแรงดัดงอ (flexure) เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ ซึ่งบางครั้งใช้เป็นการทดสอบแบบทดแทนการทดสอบแรงดึงในกรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างอาจมีขนาดใหญ่ไม่พอในการทดสอบแรงดึง จึงใช้การทดสอบแรงดัดงอแทน แต่ไม่นิยมนำมาแทนกันโดยสมบูรณ์ กล่าวคือ แรงดึงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทั้งสองประเภทนั้นแตกต่างกัน ซึ่งในการทดสอบแรงดึงนั้นชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงดึงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด แต่ในการทดสอบแรงดัดงอชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงดึงไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบไปชิ้นงานจะมีการดัดงอเพิ่มขึ้น จึงไม่เหมาะกับการทดสอบวัสดุที่อ่อนดัดง่าย การทดสอบแรงดึงจะประกอบด้วยแรง 2 แรงด้วยกัน คือ แรงกดและแรงดึง โดยทั่วไปการทดสอบการดัดงอสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การดัดงอแบบ 3 จุด (three-pointed bending) และการดัดงอแบบ 4 จุด (four-pointed bending)



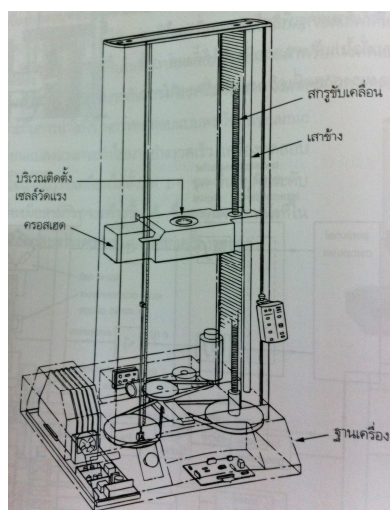
ภาพที่ 3 การรับแรงของการทดสอบแรงดัดงอ



ภาพที่ 4 การทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด และ 4 จุด

2.2 เครื่องทดสอบ

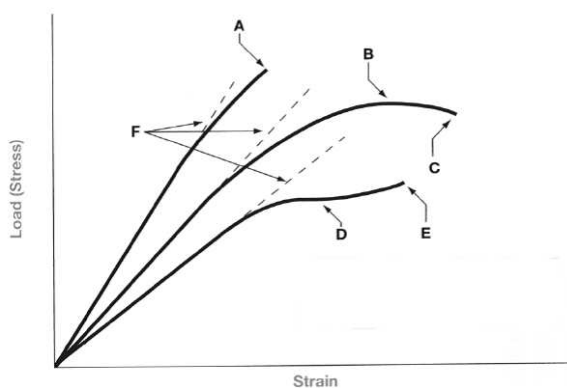
การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงดัดงอ จะใช้เครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) แต่การทดสอบจะต่างกันที่ อุปกรณ์จับชิ้นงาน ทดสอบ อุปกรณ์วัดแรง (load cell) การวางชิ้นงานทดสอบ หรือวิธีการตั้งทิศทางแรงของเครื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดสอบชิ้นงานนั้นๆ ด้วย



ภาพที่ 5 แผนภาพเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

โดยทั่วไปผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงดัดงอ จะมีลักษณะคล้ายกัน คือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้ ซึ่งสมบัติทางกลของพลาสติกที่เกี่ยวข้องกับความเค้นและความเครียด มีดังนี้



- A, E คือ ความต้านทานแรงดึง ณ จุดขาด, ความเครียด ณ จุดขาด
 B คือ ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก, ความเครียด ณ จุดคราก
 C คือ ความเค้น ณ จุดขาด, ความเครียด ณ จุดขาด
 D คือ ความเค้น ณ จุดคราก, ความเครียด ณ จุดคราก
 F คือ เส้นกราฟมอดูลัสของความยืดหยุ่น

ภาพที่ 6 สมบัติทางกลที่ได้จากการทดสอบ

2.3.1 มอดูลัส (modulus) เป็นค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด โดยมีมอดูลัสมีหลายประเภท ได้แก่

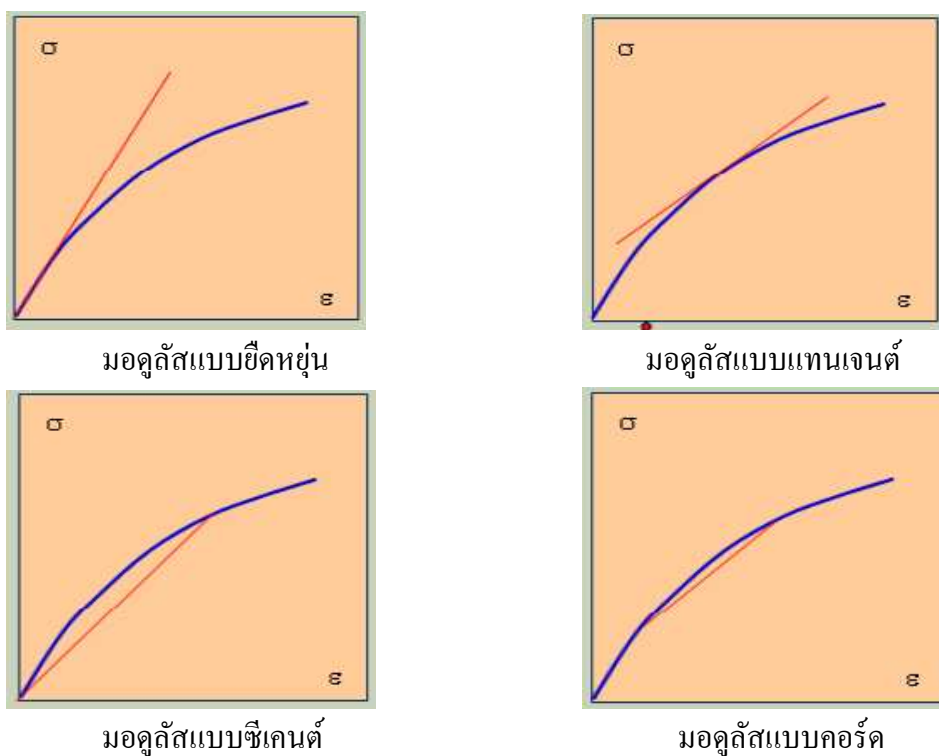
- มอดูลัสแบบยืดหยุ่น (elastic modulus) หรือค่ามอดูลัสของยัง คำนวณจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกในช่วงแรกของกราฟในระดับที่พลาสติกยังคงสภาพยืดหยุ่นเชิงเส้น นิยมใช้ในการหามอดูลัสของพลาสติกทั่วไป

- มอดูลัสแบบแทนเจนต์ (tangent modulus) คำนวณจากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกที่จุดต่างๆ โดยกำหนดจุดว่าจะหาที่จุดใด วิธีนี้ค่อนข้างหาข้อสรุปค่ามอดูลัสได้ยาก จึงไม่ค่อยนิยมนำวิธีนี้หาค่ามอดูลัส

- มอดูลัสแบบซีแคนต์ (secant modulus) คำนวณจากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกที่ความเครียดต่ำ โดยกำหนดค่าความเครียดที่ต้องการหามอดูลัส นิยมกับพลาสติกที่มีความนิ่มหรือยาง

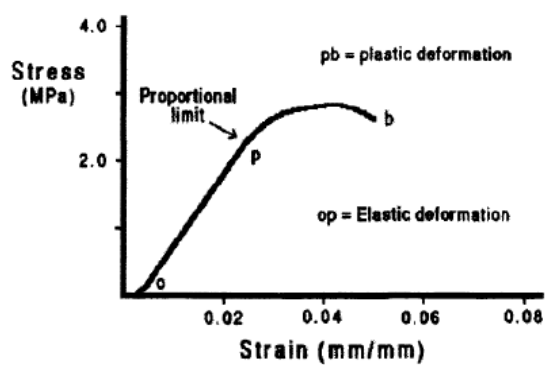
- มอดูลัสแบบคอร์ด (chord modulus) คำนวณจากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดระหว่างจุดสองจุด นิยมใช้ในการหามอดูลัสของพลาสติกทั่วไป

ดังนั้นในการหาค่ามอดูลัส ถ้าใช้วิธีการคำนวณแบบใด ควรระบุไว้ในวิธีทดสอบด้วย



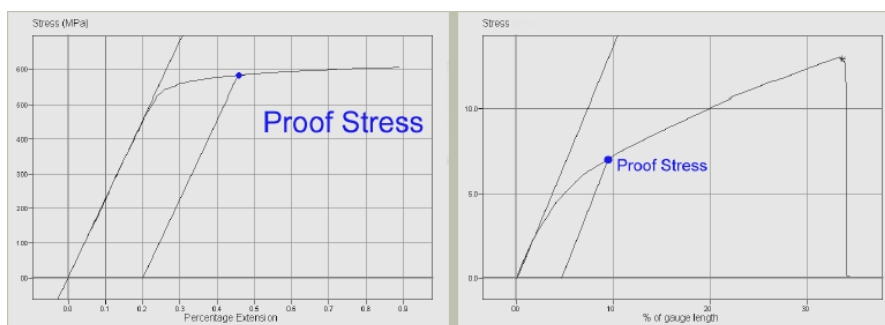
ภาพที่ 7 การหามอดูลัสด้วยวิธีต่างๆ

2.3.2 ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (proportional limit) เป็นขีดจำกัดเมื่อวัสดุตอบสนอง ถ้าเลขจุดนี้ไปแล้วความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นจะหมดไป จะไม่เกิดสมบัติยืดหยุ่น (elastic behavior) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน

2.3.3 จุดคราก (yield point) เป็นค่าประมาณของจุดที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นไปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร โดยการหาจุดครากสามารถหาได้โดยมีการกำหนดค่าจุดครากโดยวิธีออฟเซต (offset yield) ขึ้นมา โดยถือว่าจุดครากเป็นจุดบนกราฟความสัมพันธ์ที่ห่างจากบริเวณที่ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงค่าเปอร์เซ็นต์หนึ่งๆ บางครั้งเรียกความเค้น ณ จุดนี้ว่า ความเค้นพิสูจน์ (proof stress)



ภาพที่ 9 การหาจุดคราก

2.3.4 ค่าความต้านทานแรงสูงสุด (strength) หรือความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นจุดครากหรือจุดที่เกิดการแตกหัก สามารถหาได้จากค่าความเค้น ณ จุดสูงสุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยการรายงานผลต้องระบุว่าเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุด ณ จุดใด

2.3.5 ความเค้นและความเครียด ณ จุดแตกหัก (stress and strain at break) เป็นค่าความเค้นและความเครียดบริเวณของจุดที่เกิดการแตกหักเสียหายในการทดสอบ

2.3.6 ความเหนียว (toughness) เป็นค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักขึ้น ซึ่งประมาณได้จากค่าพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยวัสดุเหนียวจะมีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าวัสดุที่มีความเปราะ

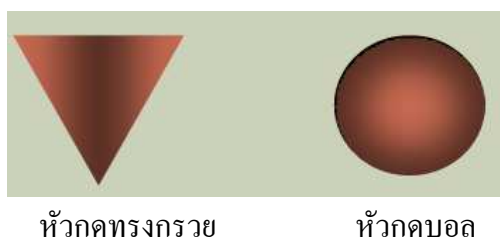
3. การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง (hardness test) เป็นการทดสอบสมบัติทางกลอีกแบบหนึ่งที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยความหมายของความแข็งนั้น มีอยู่ด้วยกันหลากหลาย ได้แก่ ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการขีดข่วน ความสามารถของวัสดุต่อการกดหรือเจาะทะลุ ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการขัดสี และความสามารถของวัสดุในการอัดขึ้นรูปหรือการตัด

3.1 วิธีการทดสอบ

การทดสอบความแข็งมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มี 2 วิธีด้วยกัน คือ การทดสอบแบบร็อกเวลล์ (rockwell) และการทดสอบแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (shore durometer)

3.1.1 การทดสอบแบบร็อกเวลล์ เป็นเทคนิคการทดสอบความแข็งที่นิยมกันมากเนื่องจากทำได้ง่าย และสามารถทดสอบชิ้นงานได้เกือบทุกประเภท สำหรับพลาสติกที่นิยมใช้วิธีนี้ทดสอบ ได้แก่ อะซิเตท ไนลอน อะคริลิก และพอลิไธรีน เป็นต้น โดยค่าความแข็งแบบร็อกเวลล์จะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากการเปรียบเทียบว่าวัสดุที่ถูกกดลงไปแล้วคืนตัวได้มากน้อยแค่ไหน ถ้ามีการคืนตัวต่ำจะเป็นวัสดุที่มีความแข็งต่ำ แต่ถ้ามีการคืนตัวได้มากแสดงว่าเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูงกว่า หัวกดที่ใช้ในการทดสอบแบบร็อกเวลล์มี 2 แบบ คือ หัวกดทรงกรวย และหัวกดบอล ซึ่งหัวกดทรงกรวยทำมาจากเพชร เหมาะกับการทดสอบวัสดุที่มีความแข็งสูง ส่วนหัวกดบอลทำมาจากเหล็กชุบ เหมาะกับการทดสอบวัสดุที่มีความแข็งต่ำกว่าซึ่งเหมาะกับการทดสอบพลาสติก



ภาพที่ 10 หัวกดทดสอบแบบร็อกเวลล์

ข้อควรระวังของการทดสอบแบบร็อกเวลล์

1. ไม่ควรใช้หัวกดลูกบอลในการวัดความแข็งสูงกว่า 100
2. ความแข็งร็อกเวลล์จะเป็นสเกลที่ค่อนข้างหยาบ พลาสติกที่มีความแข็งใกล้เคียงกัน จะไม่สามารถแยกได้
3. ควรทำความสะอาดของอุปกรณ์และชิ้นงานทดสอบก่อนทำการวัดชิ้นงาน เพราะถ้ามีเศษสกปรกค้างอยู่อาจทำให้พื้นผิวไม่แนบสนิทกัน ส่งผลต่อค่าที่วัดได้

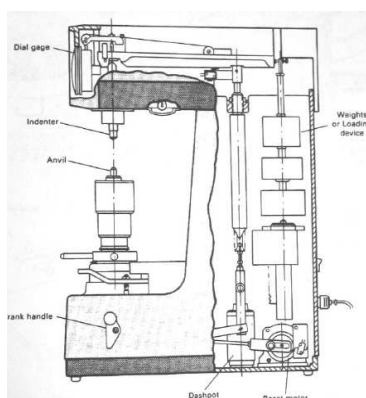
3.1.2 การทดสอบแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ หรือเรียกว่าการทดสอบความแข็งแบบชอร์ เป็นการทดสอบความแข็งที่นิยมกับวัสดุที่มีความแข็งไม่สูงมาก เช่น ยางและพลาสติก โดยเฉพาะพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งในการทดสอบจะให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงานทดสอบและใช้ความแข็งของสปริงกด ส่วนที่ให้แรงแทนที่จะเป็นน้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริง เมื่อทำการทดสอบแรงกดจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ทำให้ได้ค่าความแข็งที่วัดได้ โดยค่าความแข็งบนหน้าปัดของเครื่องจะมีค่า 0-100 ในการทดสอบแบบชอร์จะมีการติดตั้งแท่นทดสอบ และการใช้ค้อนน้ำหนักที่ติดตั้งลงบนอุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบชอร์ โดยค้อนน้ำหนักมีหลายขนาด แต่ที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ แบบชอร์ A เป็นค้อนน้ำหนักหนัก 1 กิโลกรัม นิยมใช้วัดความแข็งของวัสดุนิ่ม เช่น ยาง พลาสติกนิ่ม เป็นต้น และชอร์ D เป็นค้อนน้ำหนักหนัก 5 กิโลกรัม นิยมใช้วัดความแข็งของวัสดุแข็ง เช่น ยางแข็ง และพลาสติกแข็ง เป็นต้น

ข้อควรระวังของการทดสอบแบบชอร์

1. ผลการทดสอบขึ้นกับการให้แรงในการทดสอบ ดังนั้นควรควบคุมความเร็วในการกดทดสอบ
2. ต้องให้แรงกดที่มากเพียงพอกับวัสดุที่ต้องการทดสอบ
3. ความแข็งของการทดสอบพลาสติกจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการกดแช่นชิ้นงานทดสอบ
4. ควรให้หัวทดสอบกดลงไปแนวตั้งฉากกับพื้นผิวของชิ้นงานทุกครั้ง เพื่อให้ค่าความแข็งที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด

3.2 เครื่องทดสอบ

3.2.1 เครื่องทดสอบแบบร็อกเวลล์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โครงและฐานเครื่อง และต้องมีแท่นที่วางชิ้นงานได้อย่างมั่นคงโดยที่ชิ้นงานไม่เคลื่อนที่ขณะทดสอบ ซึ่งการทำงานของเครื่องตั้งแต่การให้แรงเริ่มกดจนถึงการให้แรงกดเต็ม สามารถทำได้โดยผู้ทดสอบเอง หรือเครื่องทำได้เองแบบอัตโนมัติ รวมทั้งค่าที่แสดงผลทดสอบออกมามีทั้งแบบที่เป็นตัวเลขดิจิทัลและหน้าปัดเข็ม นอกจากนี้เครื่องทดสอบแบบดิงโตะแล้วในปัจจุบันได้มีการออกแบบเครื่องให้มีขนาดเหมาะสมกับการพกพาเพื่อนำไปทดสอบนอกสถานที่ได้ด้วย



ภาพที่ 11 แผนภาพเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์

3.2.2 เครื่องทดสอบแบบชอร์ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นหน้าปัดขนาดพกพาได้ ทำให้ผู้ทดสอบสามารถใช้มือจับเครื่องเพื่อทำการทดสอบ หรือนำเครื่องมาติดตั้งที่ฐานทดสอบเพื่อให้เกิดความถูกต้องในการทดสอบมากขึ้น ภายในเครื่องทดสอบชอร์ประกอบด้วยหัวทดสอบซึ่งติดอยู่กับสปริง เมื่อทำการทดสอบแรงกดจากสปริงจะส่งไปแสดงผลบนสเกลของหน้าปัดในลักษณะเข็มวัดหรือตัวเลขดิจิทัลก็ได้ ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 12 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบความแข็ง ค่าที่ได้จากการทดสอบนั้นมักนิยมเขียนเป็นสัญลักษณ์ ดังนี้

XXX HYZ

โดยที่	XXX	คือ ตัวเลขที่ระบุความแข็ง
	H	คือ ตัวอักษรชุดที่ 1 หมายถึงความแข็ง
	Y	คือ ตัวอักษรชุดที่ 2 ระบุถึงประเภทความแข็งที่ทดสอบ
	Z	คือ ตัวอักษรหรือตัวเลขชุดที่ 3 ระบุถึงพารามิเตอร์ในการทดสอบความแข็ง

ตัวอย่าง เช่น

50 HRC	หมายถึง ค่าความแข็งเท่ากับ 50 จากการทดสอบแบบร็อกเวลล์สเกล C
75 shore A 15	หมายถึง ค่าความแข็งเท่ากับ 75 จากการทดสอบแบบชอร์ A อ่านค่าหลังจากกดเป็นเวลา 15 นาที

3.1.1 การเลือกใช้เทคนิคในการทดสอบความแข็ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในให้ผู้ทดสอบเลือก
ว่าควรใช้เทคนิคการทดสอบใดกับวัสดุใด

- ระดับความแข็งของวัสดุ ถ้าวัสดุที่มีความแข็งต่ำหรือระดับค่ามอดุลัสต่ำควรเลือกใช้การ
ทดสอบความแข็งแบบชอร์ ส่วนวัสดุที่มีความแข็งสูงหรือระดับค่ามอดุลัสสูงควรเลือกใช้การทดสอบความ
แข็งแบบร็อกเวลล์

- ระดับความเรียบของวัสดุ ถ้าวัสดุมีผิวหน้าที่ขรุขระควรเลือกใช้การทดสอบความแข็ง
แบบร็อกเวลล์ มากกว่าการทดสอบความแข็งแบบชอร์

- ผลกระทบของรอยกดต่อผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่จำเป็นต้องนำตัวผลิตภัณฑ์มาทดสอบ
โดยตรง ให้พิจารณาถึงรอยกดที่เกิดขึ้น เนื่องจากรอยกดจากเทคนิคการทดสอบความแข็งบางประเภท เช่น
รอยกดจากการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกขึ้นในเนื้อของ
ผลิตภัณฑ์ได้

- ความเร็วและระดับความแม่นยำ สำหรับการทดสอบความแข็งแรงแบบร็อกเวลล์ และแบบชอร์ จะมีความเร็วในการทดสอบสูง ซึ่งเหมาะสมกับการควบคุมคุณภาพของงานในอุตสาหกรรมเนื่องจากต้องแข่งกับเวลา แต่สำหรับการทดสอบความแข็งแรงแบบอื่นอาจใช้เวลานานกว่าในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ แต่จะให้ผลที่มีความละเอียดมากกว่า

- องค์ประกอบของวัสดุและจุดประสงค์ในการทดสอบ ต้องพิจารณาพื้นที่ของวัสดุ รวมไปถึงถึงองค์ประกอบของวัสดุที่จะทำการทดสอบ เนื่องจากการวัดความแข็งแรงให้เกิดรอยกดที่มีขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กจะต้องสอดคล้องไปกับจุดประสงค์ของการทดสอบด้วยเพื่อเป็นการศึกษาว่าเป็นการวัดความแข็งแรงของทั้งชิ้นงานหรือแค่ต้องการศึกษาองค์ประกอบของวัสดุในแต่ละเฟส

3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ ในการทดสอบความแข็งแรงควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบด้วยเพื่อให้ค่าที่ได้ออกมามีความถูกต้องมากที่สุด

- ระยะห่างระหว่างรอยกด ในการทดสอบนั้นจะมีการกดเพื่อทดสอบที่ผิวหน้าด้านหนึ่งของชิ้นงานหลายๆ บริเวณ เพื่อให้ได้หลายค่าในการนำผลมาวิเคราะห์ ซึ่งรอยกดครั้งแรกและครั้งถัดไปควรห่างกันอย่างน้อยประมาณ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยกดหรือประมาณ 6 มิลลิเมตร และไม่ควรทดสอบที่บริเวณใกล้ขอบของชิ้นงานเกินไป ควรทดสอบชิ้นงานทดสอบด้านเดียว ไม่ควรพลิกอีกด้านมาทดสอบ

- อัตราเร็วในการทดสอบ โดยเฉพาะในการทดสอบด้วยมือ การกดเร็วจะให้ค่าที่สูงกว่าการกดช้า ดังนั้นในการทดสอบด้วยมือต้องควบคุมการกดให้แรงกดสม่ำเสมอ และให้ผู้ทดสอบคนเดียวในการทดสอบ

- เวลาในการทดสอบ เวลาในการทดสอบหรือการกดแช่ลงในชิ้นงานทดสอบไม่เท่ากันจะส่งผลต่อความแข็งแรงที่ไม่เท่ากันได้ โดยเฉพาะพลาสติกจะแสดงสมบัติที่ขึ้นกับเวลาในการทดสอบ ค่าความแข็งแรงจะเปลี่ยนไปตามเวลาทดสอบคือ ยิ่งกดแช่นานเท่าไรค่าความแข็งแรงของพลาสติกจะลดลงไปเรื่อยๆ

- ความหนาของชิ้นงานทดสอบ ความหนาของชิ้นงานทดสอบต้องเพียงพอกับการทดสอบ เพราะถ้าชิ้นงานบางไปอาจทำให้เครื่องทดสอบวัดความแข็งแรงจากฐานด้านล่างแทนตัวชิ้นงานได้ ทำให้ได้ค่าที่สูงกว่าค่าจริง

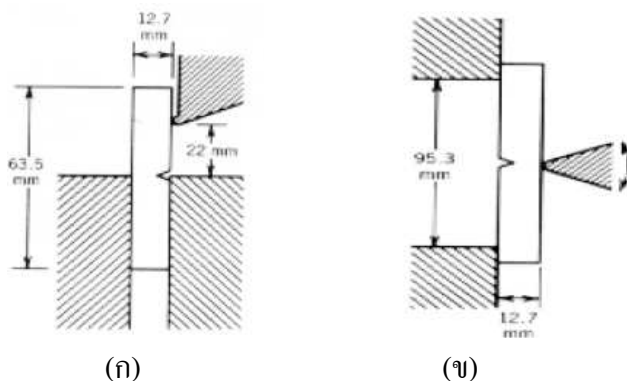
4. การทดสอบความทนทานต่อการกระแทก

การทดสอบความทนทานต่อการกระแทกเป็นการทดสอบวัสดุภายใต้ความเค้นหรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก ซึ่งเป็นการทดสอบสมบัติทางกลเฉพาะสำหรับการนำวัสดุนั้นๆ ไปใช้กับงานบางประเภทที่ต้องประสบกับภาวะแรงกระแทก ตัวอย่างเช่น หมวกกันน็อก กันชนรถยนต์ ถังกระสอบพลาสติก เป็นต้น

4.1 วิธีการทดสอบ

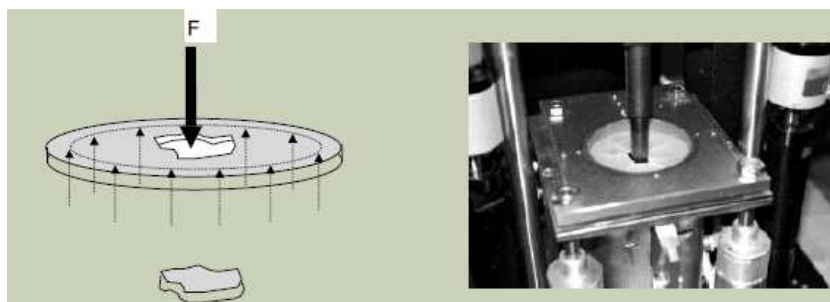
การทดสอบความทนทานต่อการกระแทกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การกระแทกด้วยแรงค้ำของคาน (fixed beam impact) การกระแทกด้วยแรงค้ำของแผ่นบาง (fixed plate impact) และการกระแทกด้วยแรงดึง (tensile impact)

4.1.1 การกระแทกด้วยแรงค้ำของคาน เป็นการใช้แรงกระแทกในการตัดชิ้นงานซึ่งมีรูปร่างเป็นคานยาว (beam) ให้เกิดการแตกหัก การทดสอบแบบนี้มี 2 วิธีด้วยกัน คือ การทดสอบแบบไอซอด (izod) และการทดสอบแบบชาร์ปี (charpy) โดยความแตกต่างของการทดสอบทั้งสองแบบนี้ ได้แก่ ลักษณะการจับยึดของชิ้นงาน และลักษณะการกระแทกของหัวทดสอบต่อชิ้นงานในการทดสอบ โดยการทดสอบแบบไอซอดชิ้นงานจะถูกจับยึดในแนวตั้งในลักษณะของคานยื่น ชิ้นงานทดสอบมีการบากหรือไม่ก็ได้ ในขณะที่การทดสอบแบบชาร์ปีชิ้นงานจะถูกวางอยู่บนแท่นรองรับในแนวนอนโดยไม่มีการจับยึด และชิ้นงานมีการบากโดยด้านที่ไม่มีรอยบากจะเป็นด้านที่ถูกกระแทก โดยใช้ค้อนเหวี่ยงเป็นเครื่องมือสำหรับการทดสอบแรงกระแทกของทั้งสองวิธี



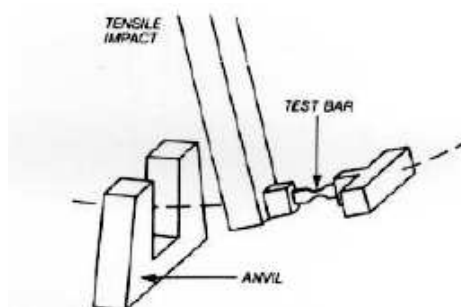
ภาพที่ 13 การทดสอบการกระแทก (ก) แบบไอซอด และ (ข) แบบชาร์ปี

4.1.2 การกระแทกด้วยแรงค้ำของแผ่นบาง เป็นการใช้แรงกระแทกชิ้นงานซึ่งมีลักษณะบางหรือแผ่นฟิล์มที่บริเวณจุดกึ่งกลางแผ่น โดยชิ้นงานจะถูกรองรับด้วยแท่นรองรับในบริเวณขอบด้านนอกของแผ่นบาง โดยทั่วไปจะทดสอบด้วยเครื่องมือแบบปล่อยกระแทกด้วยแรงโน้มถ่วง การทดสอบแบบนี้ทำให้เกิดการรับแรงได้หลายทิศทาง ซึ่งข้อเสียเปรียบของการทดสอบด้วยวิธีนี้คือ ค่าพลังงานที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของหัวกระแทก หรือแรงเสียดทานระหว่างหัวกระแทกและพื้นผิวของชิ้นงาน นอกจากนี้พลังงานการกระแทกที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานทดสอบด้วย ดังนั้นการทดสอบด้วยวิธีนี้จึงไม่จัดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ จึงใช้ผลการทดสอบในเชิงการเปรียบเทียบในสภาวะการทดสอบเดียวกัน เพื่อคิดว่าวัสดุหรือฟิล์มพลาสติกใดมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้มากกว่ากัน



ภาพที่ 14 การทดสอบการกระแทกด้วยแรงค้ำของแผ่นบาง

4.1.3 การกระแทกด้วยแรงค้ำ เป็นการทดสอบแรงค้ำ ณ อัตราเร็วสูงมาก เหมาะกับการนำมาใช้ในงานวิจัยและพัฒนาหรือการทดลองพื้นฐานมากกว่านำไปใช้ในอุตสาหกรรม ลักษณะของแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะมีความสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ สามารถใช้ทดสอบกับชิ้นงานที่มีความบางได้ โดยทั่วไปนิยมใช้การทดสอบวิธีนี้ควบคู่ไปกับการทดสอบประเภทอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมซึ่งกันและกัน และในการทดสอบด้วยแรงค้ำควรทดสอบชิ้นงานแต่ละครั้งไม่ควรต่ำกว่า 10 ชิ้นงานทดสอบ

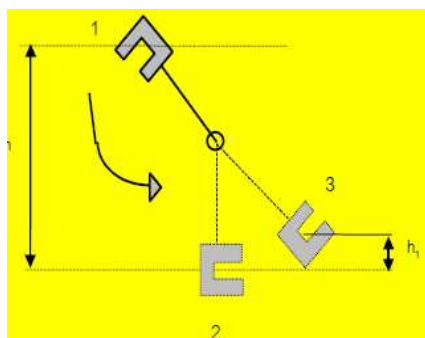


ภาพที่ 15 การทดสอบการกระแทกด้วยแรงค้ำ

4.2 เครื่องทดสอบ

โดยทั่วไปเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกที่นิยม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ การใช้ค้อนเหวี่ยง (pendulum) และแบบปล่อยกระแทกด้วยแรงโน้มถ่วง (drop weight)

4.2.1 การใช้ค้อนเหวี่ยง เป็นเครื่องมือทดสอบแรงกระแทกทั้งแบบที่เป็น ไอโซด ชาร์ปี และแรงค้ำ โดยมีหลักการคือ การปล่อยตุ้มน้ำหนักที่ทราบน้ำหนักแน่นอนให้เคลื่อนที่จากความสูงที่กำหนดให้ลงมากระแทกชิ้นงานตัวอย่างในแนวเส้นโค้งครึ่งวงกลม เมื่อตุ้มน้ำหนักกระแทกชิ้นงานจนเกิดการแตกหัก จะเคลื่อนที่ต่อไปในความสูงระยะหนึ่ง ซึ่งความแตกต่างของความสูงเริ่มต้นและความสูงหลังจากกระแทกชิ้นงาน รวมกับน้ำหนักของลูกตุ้มน้ำหนักจะถูกนำไปคำนวณออกมาเป็นค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกได้



ภาพที่ 16 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

สำหรับตัวเครื่องทดสอบประเภทค้อนเหวี่ยงประกอบไปด้วยฐานเครื่องที่มีการติดตั้งอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ บริเวณฐานเครื่องมีชุดจับยึดที่ใช้ในการจับชิ้นงานทดสอบ ส่วนค้อนเหวี่ยงประกอบไปด้วยแขนเหวี่ยงและหัวกระแทก จะติดตั้งร่วมกับชุดลูกปืนที่มีแรงเสียดทานต่ำ



ภาพที่ 17 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง

4.2.2 แบบปล่อยกระแทกด้วยแรงโน้มถ่วง ส่วนใหญ่ใช้ทดสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น เช่น พลาสติก เป็นต้น ซึ่งสามารถทำการทดสอบได้ 2 วิธี คือ

- ใช้หัวกระแทกที่มีตุ้มน้ำหนักติดอยู่ตามระดับที่กำหนด
- ใช้ตุ้มน้ำหนักที่ระยะสูงตามระดับที่กำหนดให้

เครื่องมือทดสอบชนิดนี้ ประกอบด้วยฐานเครื่องขนาดเล็ก โดยจะมีฐานรองรับชิ้นงาน และจะมีรางหรือท่อในแนวตั้งสำหรับประคองหัวกระแทกที่ระถูกยึดด้วยความสูงแตกต่างกัน ตามระดับความเร็วตกกระแทกที่ต้องการให้เคลื่อนที่ลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงเพื่อลงไปที่กระแทกชิ้นงาน สำหรับหัวกระแทกโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นรูปทรงแหลมมน



ภาพที่ 18 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบปล่อยกระแทกด้วยแรงโน้มถ่วง

นอกจากนี้ยังมีเครื่องทดสอบการกระแทกประเภทอื่นๆ ได้แก่ เครื่องทดสอบการกระแทกด้วยการขับเคลื่อนหัวกระแทกด้วยแรงดันน้ำมัน (hydraulic impact tester) และ เครื่องทดสอบการกระแทกด้วยการขับเคลื่อนหัวกระแทกด้วยแรงลม (pneumatic impact tester) เป็นต้น

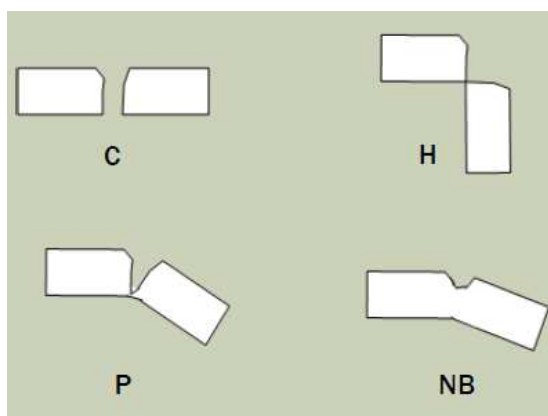
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบแบบที่เป็น ไอชอด ชาร์ปี และแรงดึงโดยใช้ค้อนเหวี่ยง จะคำนวณจากความแตกต่างของความสูงเริ่มต้นและความสูงหลังจากกระแทกชิ้นงาน รวมกับน้ำหนักของลูกตุ้ม น้ำหนักจะถูกนำไปคำนวณออกมาเป็นค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{พลังงานการกระแทก} &= (mgh_1) - (mgh_2) \\ &= mg(h_1 - h_2)\end{aligned}$$

ซึ่งการทดสอบแบบชาร์ปี ชิ้นงานทดสอบต้องมีการแตกหักสมบูรณ์จึงถือว่าค่าพลังงานต้านทานที่ทดสอบได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ต่างจากการทดสอบแบบไอชอดซึ่งชิ้นงานไม่จำเป็นต้องแตกหักสมบูรณ์ ดังนั้นในการทดสอบการกระแทกด้วยแรงค้ำของคานต้องระบุว่าชิ้นงานมีการแตกหักหรือไม่อย่างไร ซึ่งได้มีมาตรฐาน ISO 180 และ ASTM D256 ได้กำหนดการแตกหักไว้เพื่อให้เกิดการเข้าใจที่ตรงกันของผู้ทดสอบไว้ดังนี้

- สัญลักษณ์ C การแตกหักสมบูรณ์
- สัญลักษณ์ H การแตกหักแบบบานพับ ยังมีชิ้นส่วนของชิ้นทดสอบติดอยู่
- สัญลักษณ์ P การแตกหักบางส่วน แตกหักน้อยกว่าแบบ H โดยมีระยะการแตกหักน้อยกว่า 90%
- สัญลักษณ์ NB ไม่แตกหัก เพียงแต่เกิดการคดงอ



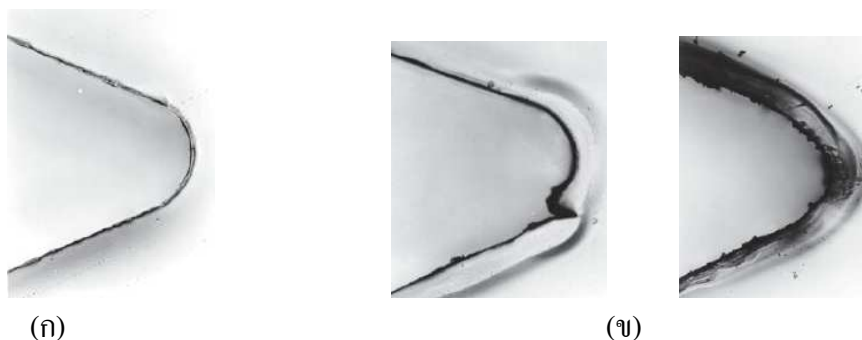
ภาพที่ 19 ประเภทของการแตกหักของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแบบคาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ เพื่อให้ค่าที่ได้ออกมามีความถูกต้องและแม่นยำ ควรคำนึงถึงปัจจัยในการทดสอบดังต่อไปนี้

- รอยบาก โดยเฉพาะในการทดสอบแบบไอซอดและชาร์ปีมักจะมีการทำบาก ก่อให้เกิดจุดอ่อนแอของชิ้นงานเพื่อเป็นการกำหนดให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักที่บริเวณรอยบาก ไม่เกิดการแตกหักที่บริเวณจับยึด ดังนั้นการบากจึงเป็นการจำลองสภาพคล้ายกับชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดการแตกหักนั่นเอง การทำบากจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการแตกหักของชิ้นงานทดสอบ จึงควรระมัดระวังในการเตรียมชิ้นงานบริเวณรอยบากให้มีความสม่ำเสมอ ไม่มีเศษหรือจุดสร้างความแตกหักนอกเหนือจากรอยบากที่สร้างไว้ รวมไปถึงรัศมีและความลึกของรอยบากในชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องมีขนาดเดียวกันทุกชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้ผลการทดสอบออกมาแม่นยำ โดยส่วนมากนิยมใช้เครื่องมือในการทำรอยบาก



ภาพที่ 20 เครื่องทำรอยบาก



ภาพที่ 21 ลักษณะรอยบาก (ก) รอยบากที่ดี (ข) รอยบากที่มีจุดบกพร่อง

- การจับยึดชิ้นงาน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อผลการทดสอบที่ได้ แต่ไม่ส่งผลต่อการทดสอบแบบชาร์ปี เนื่องจากชิ้นงานทดสอบแบบชาร์ปีไม่มีการถูกจับยึด ดังนั้นในการทดสอบแบบอื่นๆ ที่มีการจับยึดชิ้นงานจึงควรมีระบบการจับยึดชิ้นงานที่แน่นหนา ไม่เคลื่อนที่ได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทก โดยอาจใช้ระบบแรงดันลมหรือแรงดันน้ำมันมาช่วยในการจับยึดชิ้นงาน

- ความเร็วในการทดสอบ ต้องมีการควบคุมความเร็วในการทดสอบให้คงที่ ซึ่งควรพิจารณาน้ำหนักของหัวกระแทกและการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของการปล่อยหัวกระแทกควบคู่ไปด้วย

- ความหนาของชิ้นงาน ชิ้นงานที่นำมาทดสอบควรมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6.36 มิลลิเมตร เนื่องจากชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่ามักจะให้พลังงานกระแทกที่สูงกว่า เนื่องจากชิ้นงานบางสามารถบิดตัวและงอตัวในระหว่างการกระแทกได้มากกว่าชิ้นงานที่หนา

- อุณหภูมิในการทดสอบ สำหรับพลาสติกอุณหภูมิมีผลต่อความแข็ง ความเปราะ และความนิ่มตัวของพลาสติกแต่ละชนิดเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลาสติกมีอุณหภูมิกลายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิความเป็นผลึก (T_c) ดังนั้นในการทดสอบพลาสติกควรเลือกอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการทดสอบด้วย

2.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

2.7.1 ประโยชน์ที่ผู้รับทุนได้รับ

- 1) ได้เพิ่มพูนความรู้ด้านการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก
- 2) นำความรู้และเอกสารที่ได้รับมาใช้ประกอบการเขียนหน่วยการเรียนรู้การสอนเกี่ยวกับพอลิเมอร์และพลาสติก ในชุดวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2.7.2 ประโยชน์ที่มหาวิทยาลัยได้รับ

- 1) เอกสารการสอนของมหาวิทยาลัย มีเนื้อหาการเรียนการสอนที่ทันสมัย
- 2) นักศึกษามีความรู้พื้นฐานของพลาสติกและเข้าใจการทดสอบสมบัติทางกลที่สำคัญได้
- 3) สามารถนำมาศึกษาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์พลาสติกได้

2.8 ข้อเสนอแนะ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการใช้งานมาก ทั้งนี้เพราะความหลากหลายในด้านสมบัติและการขึ้นรูปความรู้พื้นฐานสำคัญเพื่อให้สามารถจำแนกพลาสติกได้จึงเป็นสิ่งสำคัญ รวมทั้งสมบัติสำคัญของพลาสติกเพื่อการเลือกใช้งานให้เหมาะสม การทดสอบสำคัญเพื่อให้ทราบชนิดพลาสติกและสมบัติของพลาสติกเพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราชไม่มีเครื่องมือทดสอบพลาสติกที่จะช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาได้มากขึ้น การเรียนรู้ด้วยการเยี่ยมชมการทดสอบและเครื่องมือทดสอบที่ทันสมัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ หรือการจัดทำสื่อประกอบจากศูนย์ฯ สามารถช่วยให้นักศึกษาได้รับความรู้เพิ่มเติมได้มากขึ้นด้วย

3. ภาพบรรยากาศการสัมมนา

