



## คู่มือการทดสอบแรงดึงและสมบัติเชิงกลของวัสดุ

วัชรกร สร้อยห่อ

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2568

## คำนำ

เครื่องทดสอบแรงดึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ ในปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถใช้ทดสอบวัสดุต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย เช่น ยาง เส้นใย พลาสติก ฟิล์ม คอมโพสิต บรรจุภัณฑ์ที่ยืดหยุ่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ กระดาษและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จึงนับเป็นเครื่องมือที่สำคัญของการทดสอบวัสดุ เครื่องวัดแรงดึง (Tensile tester) ไม่เพียงแต่ทดสอบชิ้นงานแบบดึงยึด แต่ยังสามารถทดสอบได้อีกหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบชิ้นงานแบบกดอัด การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด การทดสอบความแข็งแรง การทดสอบการตัดโค้ง การเปลี่ยนรูป และการทดสอบประสิทธิภาพอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ส่วนควบคุมของเครื่องมือวัดรุ่นนั้นๆ เช่น ขนาดของตัวเครื่องและโหลดเซลล์ หัวจับหรือแท่นวางชิ้นงานทดสอบ เป็นต้น

โดยหลักการทำงานของเครื่องมือนี้ คือ การเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงต้านในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุโดยอาศัยโหลดเซลล์ (Load cell) และการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นงานโดยอาศัยอุปกรณ์วัดระยะ (Extensometer) เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะที่เปลี่ยนแปลงไป และหากนำขนาดของชิ้นงานทดสอบมาคำนวณด้วยก็จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ทำให้ได้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของชิ้นงานทดสอบนั้น เช่น ค่าโมดูลัสของวัสดุ (Modulus) ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ความสามารถในการยืดของวัสดุ (Elongation) เป็นต้น

วัทธิกร สร้อยหล้า

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย ทองปาน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดทำคู่มือการทำงานเล่มนี้ ท่านได้ชี้แนะแนวคิดเชิงวิชาการ พร้อมทั้งแบ่งปันประสบการณ์ที่สั่งสมมาจากการทำงานวิจัยและการปฏิบัติจริง ทำให้ผู้เขียนมีความเข้าใจในเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง และสามารถถ่ายทอดออกมาเป็นคู่มือที่มีความถูกต้อง ชัดเจน และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ผู้เขียนขอแสดงความขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ดร.กมลพร แสนคำ ที่ได้ให้คำแนะนำ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและข้อมูลเชิงเทคนิคในการเขียนและเรียบเรียงคู่มือ และรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้รับการสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ลิ้มปชัยพานิช ซึ่งได้กรุณาตรวจทาน ตรวจสอบความถูกต้อง และประเมินความสมบูรณ์ของเนื้อหาอย่างรอบคอบและพิถีพิถัน คำแนะนำจากท่านช่วยให้ผู้เขียนได้ปรับปรุงและแก้ไขในส่วนที่จำเป็น จนเอกสารมีความครบถ้วนและได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ ตลอดจนจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างราบรื่น การสนับสนุนดังกล่าวทำให้การดำเนินการทดสอบและการจัดทำคู่มือนี้สำเร็จลุล่วงตามแผนงานที่วางไว้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณจากใจต่อ สมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่มอบความรัก ความอบอุ่น และกำลังใจอย่างต่อเนื่อง ความเข้าใจและการสนับสนุนจากครอบครัวเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ช่วยให้ผู้เขียนสามารถก้าวผ่านอุปสรรคและความท้าทายต่าง ๆ จนสามารถจัดทำคู่มือการทำงานเล่มนี้เสร็จสิ้นตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ เพื่อใช้ในการเผยแพร่ความรู้และต่อยอดการพัฒนาด้านเทคนิคการใช้เครื่องมือในอนาคต

ผู้เขียนขอขอบคุณความสำเร็จของผลงานนี้เป็นเกียรติแก่ทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วม ไม่ว่าจะเป็นในด้านความรู้ คำแนะนำ การสนับสนุน หรือกำลังใจ ซึ่งทุกสิ่งล้วนเป็นพลังสำคัญที่ทำให้คู่มือเล่มนี้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

# สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ทฤษฎีของการทดสอบแรงดึง (Tensile test)	1
1.2 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-strain behavior)	5
1.3 สมบัติเกี่ยวกับความต้านแรงดึง (Tensile properties)	7
1.4 ความเป็นแอนอีลาสติก (Anelasticity)	11
1.5 คุณสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ (Elastic properties of materials)	12
1.6 ความเค้นจริงและความเครียดจริง (True stress and strain)	13
บทที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester)	16
2.1 โครงสร้างหลัก (Frame)	17
2.2 โหลดเซลล์ (Load cell)	18
2.3 หัวจับชิ้นทดสอบ (Grips)	20
2.4 ระบบขับเคลื่อน (Drive system)	23
2.5 ครอสเฮด (Crosshead)	23
2.6 เครื่องมือวัดการยืดตัว (Extensometer)	24
2.7 ระบบควบคุมและแสดงผล (Control and display system)	24
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบ	25
3.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	25
3.2 การวางชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง	30
3.3 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน	31

3.4	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทดสอบ	32
บทที่ 4	การทดลองและการวิเคราะห์ผล	40
4.1	การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ	40
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	42
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	49
5.1	การเตรียมตัวอย่าง (Specimen Preparation)	49
5.2	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ (Result Analysis)	50
5.3	ความสำคัญของการขาดกลางเงาในการทดสอบแรงดึง	50
5.4	ข้อควรระวังและข้อห้ามในการทดสอบแรงดึง	51
	เอกสารอ้างอิง	53

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 โมดูลีความยืดหยุ่นของโลหะบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง	6
ตารางที่ 1.2 ค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุโลหะทั่วไป	13
ตารางที่ 3.1 ขนาดของการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานต่างๆ	26
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบแรงดึงของโลหะชนิดเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061	45
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบแรงดึงของเส้นลวดเหล็ก	48

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้

## สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	ชิ้นงานดึงมาตรฐานที่มีหน้าตัดแบบแท่งทรงกระบอกและแบบแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ASTM E8)	2
รูปที่ 1.2	แสดงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบความเค้น-ความเครียดในรูปแบบของแรงดึง	2
รูปที่ 1.3	แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ (a) แรงดึง (Tensile stress) (b) แรงอัด (Compressive stress) และ (c) แรงเฉือน (Shear stress)	4
รูปที่ 1.4	แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดในรูปแบบโมดูลัสของความยืดหยุ่น เป็นเส้นตรง	6
รูปที่ 1.5	แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดในรูปแบบยืดหยุ่นไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear)	7
รูปที่ 1.6	กราฟแสดงตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเหนียวระหว่างการทดสอบแรงดึง โดยเกิดคอคอด ภาพแทรกแสดงลักษณะรอยแตกหักบริเวณคอคอด	8
รูปที่ 1.7	(a) การคำนวณหาค่าความแข็งแรงจุดคราก 0.002 ของเหล็ก (b) พฤติกรรมจุดครากบนและล่างของเหล็กคาร์บอนต่ำ	9
รูปที่ 1.8	ค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุชนิดต่างๆ	10
รูปที่ 1.9	พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของโลหะเปราะเปรียบเทียบกับโลหะเหนียว	11
รูปที่ 1.10	แผนผังแสดงการยืดตามแนวแกน (z) (ความเครียดเชิงบวก $\mathcal{E}_z$ ) และการหดตัวด้านข้าง (x) (ความเครียดเชิงลบ $\mathcal{E}_x$ ) ซึ่งเกิดจากการใช้งานแรงดึงตามแนวแกน ( $\sigma_z$ )	13
รูปที่ 1.11	กราฟการเปรียบเทียบพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของแรงดึงทั่วไปและความเค้น-ความเครียดจริง	15
รูปที่ 2.1	เครื่อง Tensile Tester รุ่น KUM-4A, ขนาดแรงทดสอบสูงสุด 50 kN จากบริษัท KM&T ประเทศเกาหลี	16
รูปที่ 2.2	หัวจับชิ้นงานแบบ ก) หัวจับแบบแผ่นจับเรียบ (Flat grips) และ ข) หัวจับแบบจับกลม (Round grips)	21
รูปที่ 3.1	การวางชิ้นงานทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง (ก) ชิ้นงานทดสอบแบบแท่งแบน และ (ข) ชิ้นงานทดสอบแท่งแผ่นกลม	30
รูปที่ 3.2	แสดงชื่อและไอคอนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบ	33
รูปที่ 3.3	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบ	33

รูปที่ 3.4	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมและการเลือกโหมดการทดสอบ	34
รูปที่ 3.5	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมและรายละเอียดชิ้นงาน	35
รูปที่ 3.6	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมและการตั้งค่าการทดสอบ	36
รูปที่ 3.7	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมและก่อนเริ่มการทดสอบ	37
รูปที่ 3.8	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมบันทึกข้อมูลการทดสอบ	38
รูปที่ 3.9	แสดงหน้าต่าง โปรแกรมบันทึกข้อมูลคิปรูปแบบตาราง	39
รูปที่ 4.1	แสดงตัวอย่างชิ้นงานของ (ก) อะลูมิเนียม และ (ข) เส้นลวดเหล็ก	41
รูปที่ 4.2	แสดงการจับชิ้นงานด้วยหัวจับ (Grip)	41
รูปที่ 4.3	แสดงการขาดของชิ้นงานอะลูมิเนียม	42
รูปที่ 4.4	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง แรง (Force) กับระยะยืด (Extension) ของเหล็ก คาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061	43
รูปที่ 4.5	กราฟเปรียบเทียบระหว่าง ความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของเหล็ก คาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061	44
รูปที่ 4.6	แสดงการขาดของชิ้นงานเส้นลวดเหล็ก	45
รูปที่ 4.7	กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรง (Force) กับระยะยืด (Extension) ของเส้นลวดเหล็ก	46
รูปที่ 4.8	กราฟเปรียบเทียบระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของเส้นลวดเหล็ก	47

# บทที่ 1

## บทนำ

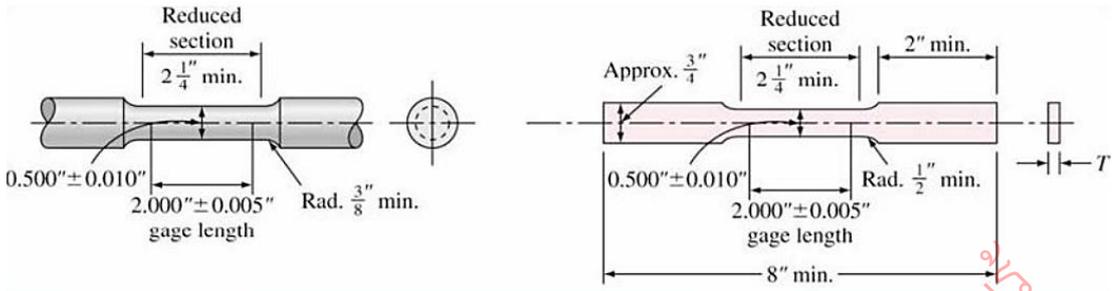
กลศาสตร์ของวัสดุ (Mechanics of Materials) เป็นวิทยาศาสตร์ทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงกระทำและผลของแรงต่อวัตถุ สามารถแบ่งออกเป็นสองแขนงหลัก ได้แก่ สถิตยศาสตร์ (Statics) ซึ่งกล่าวถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุ หรืออนุภาคที่หยุดนิ่ง และพลศาสตร์ (Dynamics) กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุและแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการประยุกต์ใช้ในการออกแบบและการทำงานของเครื่องจักร หนึ่งในวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกลของวัสดุคือ การทดสอบแรงดึง (Tensile test) ซึ่งเป็นกระบวนการทดสอบวัสดุโดยการออกแรงดึงในแนวแกน เพื่อวัดความสามารถของวัสดุในการต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบนี้ช่วยให้สามารถหาค่าคุณสมบัติสำคัญ เช่น ความเค้น (Stress), ความเครียด (Strain), ค่าความแข็งแรง (Tensile strength), โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus), และจุดคราก (Yield point) ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงสามารถนำมาใช้ในการออกแบบเชิงวิศวกรรม การวิเคราะห์ความปลอดภัยของโครงสร้าง และเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในการใช้งานเฉพาะด้าน เช่น การออกแบบควบคุมรถยนต์ ยานอวกาศ เครื่องยนต์ การไหลของของไหล เครื่องจักรกลทางไฟฟ้า เป็นต้น

การทดสอบทางกลจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความปลอดภัยและประสิทธิภาพของวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งาน

### 1.1 ทฤษฎีของการทดสอบแรงดึง (Tensile test) [4-6]

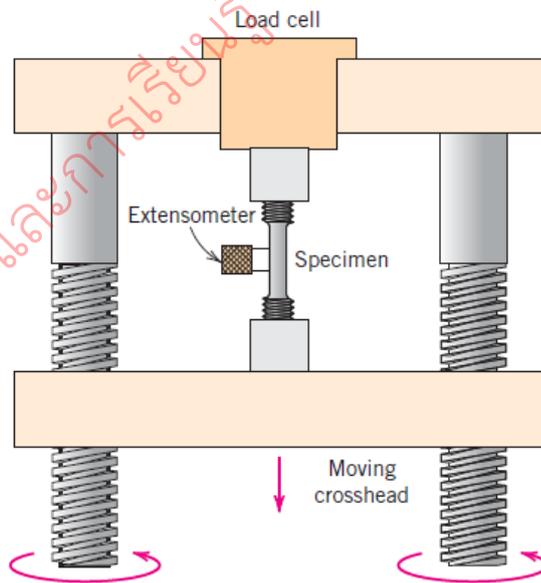
การทดสอบแรงดึง (Tensile test หรือ Tension test) เป็นรูปแบบการทดสอบความเค้น-ความเครียดเชิงกล ซึ่งเป็นหนึ่งในการทดสอบทางกลศาสตร์ที่สำคัญในวิทยาศาสตร์วัสดุและวิศวกรรม การทดสอบแรงดึงสามารถใช้เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่มีความสำคัญในการออกแบบ ชิ้นงานจะถูกเปลี่ยนรูปโดยแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามแนวแกนเดียว (Uniaxial) จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการขาดจากกัน ชิ้นงานถึงมาตรฐานแสดงในรูปที่ 1.1 โดยปกติหน้าตัดจะเป็นแบบแท่งทรงกระบอก แต่ก็สามารถใช้ชิ้นงานแบบแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้เช่นกัน โดยผลการทดสอบเป็นที่ยอมรับได้ทั่วไป จึงต้องทำการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดของสมาคมอเมริกันเพื่อการ

ทดสอบและวัสดุ (The American Society for Testing and Materials, (ASTM)) หรือมาตรฐานอื่นซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยสากล [1]



รูปที่ 1.1 ชิ้นงานดึงมาตรฐานที่มีหน้าตัดแบบแท่งทรงกระบอกและแบบแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ASTM E8) [2]

ชิ้นงานทดสอบแรงดึงนี้จะถูกจับยึดปลายทั้งสองข้างด้วยหัวจับชิ้นงาน (รูปที่ 1.2) เครื่องทดสอบแรงดึงถูกออกแบบมาให้สามารถดึงชิ้นงานด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และวัดขนาดของแรงกระทำที่เกิดขึ้นในขณะนั้นด้วยโหลดเซลล์ (Load cell) และการยืดตัวที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและพร้อมกันที่เกิดขึ้นด้วยอุปกรณ์วัดระยะ (Extensometer) โดยทั่วไปแล้ว การทดสอบใช้เวลาไม่ก่นาทีและเป็น การทดสอบแบบทำลายชิ้นงาน กล่าวคือ ชิ้นงานทดสอบจะเสียรูปถาวรและขาดจากกันที่สุดในที่สุด



รูปที่ 1.2 แสดงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบความเค้น-ความเครียดในรูปแบบของแรงดึง [1]

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงกระทำ (Load) กับ ระยะยืด (Elongation) ที่เกิดขึ้น ถูกแปลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับระยะยืด โดยขึ้นกับขนาดของชิ้นทดสอบด้วย แรงและระยะยืดถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐานตาม พารามิเตอร์ของความเค้นและความเครียดที่เกี่ยวข้อง

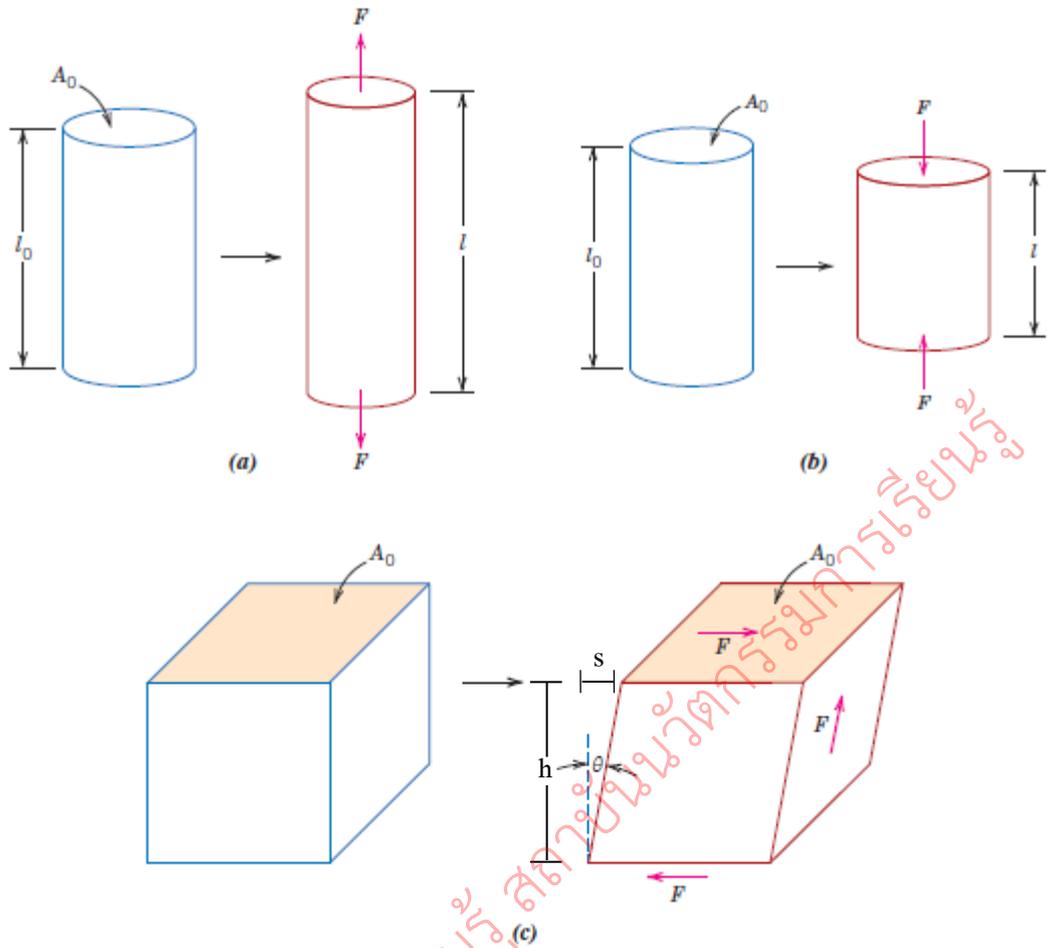
**1.1.1 ความเค้น (Stress)** นิยามโดยอัตราส่วนของแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ จึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1.1)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ความเค้น มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>) หรือ kgf/mm<sup>2</sup> หรือ psi (lbf/in<sup>2</sup>)  
 $F$  คือ แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ  
 $A_0$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น m<sup>2</sup> หรือ mm<sup>2</sup> หรือ in<sup>2</sup>

โดยทั่วไป ความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

- 1) **ความเค้นแรงดึง (Tensile stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3(a)
- 2) **ความเค้นแรงอัด (Compressive stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังแสดงในรูปที่ 1.3(b)
- 3) **ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress,  $\tau$ )** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังแสดงในรูปที่ 1.3(c) ค่าความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงเฉือน (Shear force) ต่อพื้นที่ภาคตัดขวาง ( $A_0$ ) โดยที่พื้นที่ภาคตัดขวางขนานกับทิศทางของแรงเฉือน หน่วยของความเค้นแรงเฉือนจะเหมือนกับหน่วยของความเค้นแรงดึง



รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่างๆ (a) แรงดึง (Tensile stress), (b) แรงอัด (Compressive stress) และ (c) แรงเฉือน (Shear stress) [1]

**1.1.2 ความเครียด (strain)** ความเครียดเป็นการยืดอันเนื่องมาจากแรงดึงทางเดียวที่กระทำกับชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นทดสอบในทิศทางของแรงนั้นเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ สามารถหาได้ดังสมการ

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.2)$$

เมื่อ  $\varepsilon$  คือ ความเครียดเชิงเส้น

$\Delta l$  คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป ( $l - l_0$ )

$l_0$  คือ ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gauge length

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอะตอมภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนรูปสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

1) การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูปหรือแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation or elastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำออก อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยังคงกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ หรือมีขนาดเท่าเดิม

2) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูปหรือแบบไม่ยืดหยุ่น (Plastic deformation or plastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำออกแล้ววัสดุจะยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม ความเครียดเฉือน  $\gamma$  นิยามโดยอัตราส่วนของระยะการเคลื่อนที่ในทางเฉือน ( $s$ ) (รูปที่ 1.3(c)) ต่อระยะความสูง ( $h$ ) จากแรงกระทำในแนวเฉือน

$$\gamma = \frac{s}{h} \quad (1.3)$$

## 1.2 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-strain behavior) [4-6]

การแปรรูปหรือเปลี่ยนรูปของโครงสร้างหนึ่งๆ จะมากหรือน้อยขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำ สำหรับโลหะส่วนใหญ่ซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงที่มีขนาดไม่สูงมากนัก ความเค้นกับความเครียดที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงซึ่งกันและกันตามความสัมพันธ์ที่เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's law)

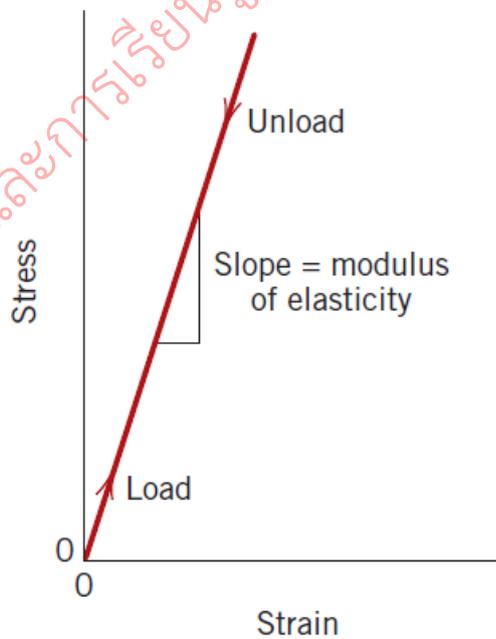
$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.4)$$

ค่าคงที่ของการแปรผัน  $E$  เรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) หรือยังโมดูลัส (Young's modulus) มีหน่วยเป็น GPa หรือ psi โดยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะบางชนิดที่อุณหภูมิห้องมีค่าดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 โมดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง

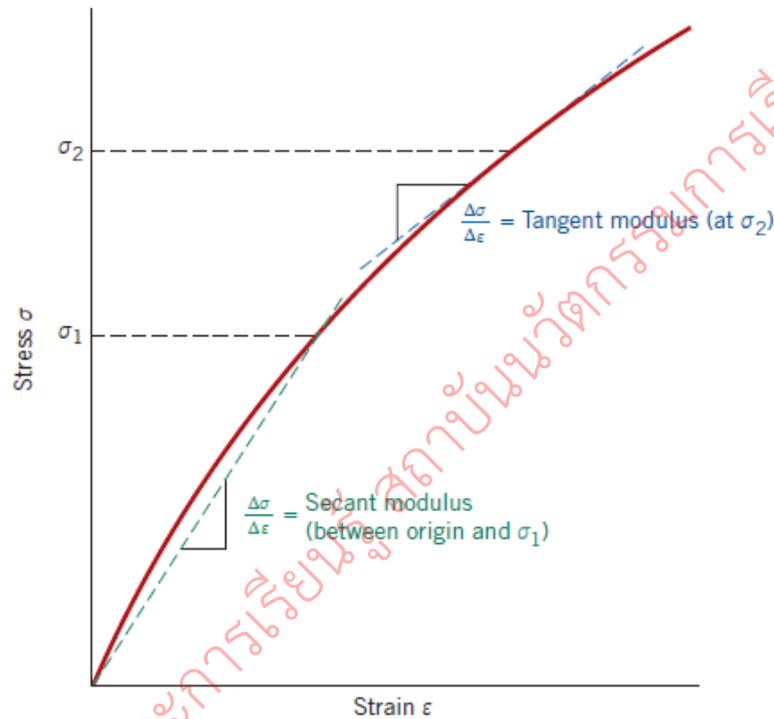
Metal Alloy	Modulus of Elasticity	
	GPa	$10^6$ psi
Aluminum	69	10
Brass	97	14
Copper	110	16
Magnesium	45	6.5
Nickel	207	30
Steel	207	30
Titanium	107	15.5
Tungsten	407	59

เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้วจะได้เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 1.4 ค่าความชันของเส้นตรงคือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น  $E$  นั่นเอง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งตึง (Stiffness) ของวัสดุในการต้านทานต่อการผิดรูป (แบบยืดหยุ่น) หากค่าโมดูลัสมาก วัสดุจะมีการผิดรูปน้อย เช่น เซรามิก เป็นต้น



รูปที่ 1.4 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดในรูปแบบโมดูลัสของความยืดหยุ่น เป็นเส้นตรง [1]

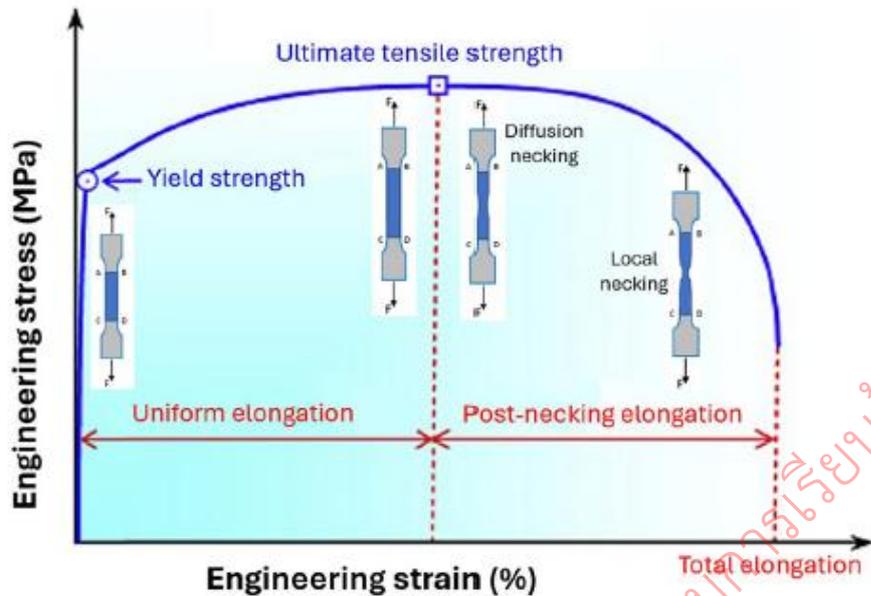
วัสดุหลายประเภทจะมีกราฟความเค้น-ความเครียดในการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นไม่เชิงเส้น (Non-linear) เช่น เหล็กหล่อเทา คอนกรีต พอลิเมอร์บางชนิด เป็นต้น ทำให้สามารถหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่จะอธิบายหลังจากนี้ โดยปกติจะใช้โมดูลัสแทนเจนต์ (Tangent) หรือโมดูลัสซีแคนต์ (Secant) ค่าโมดูลัสแทนเจนต์จะใช้เป็นความชันของเส้นโค้งที่ลากจากจุดกำเนิดไปยังจุดใดจุดหนึ่งของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด และการหาค่าโมดูลัสเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดในรูปแบบยืดหยุ่นไม่เชิงเส้นตรง (Non-linear) [1]

### 1.3 สมบัติเกี่ยวกับความต้านแรงดึง (Tensile properties) [4-6]

**1.3.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)** ค่าความเค้นสูงสุดในกราฟความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม ค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดสูงสุด (Ultimate tensile strength) ในรูปที่ 1.6 จากนั้นพื้นที่หน้าตัดจะค่อยๆ เล็กลงทำให้ค่าความเค้นเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับความเค้นสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ภายใต้แรงดึง จากความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดเดิม ( $A_0$ ) ที่ลดลง ความแข็งแรงดึงคือความเค้นที่จุดที่วัสดุเริ่มเกิดคอคอด (Necking) ขึ้นในวัสดุซึ่งที่แสดงในภาพแทรกของชิ้นงานในรูปที่ 1.6

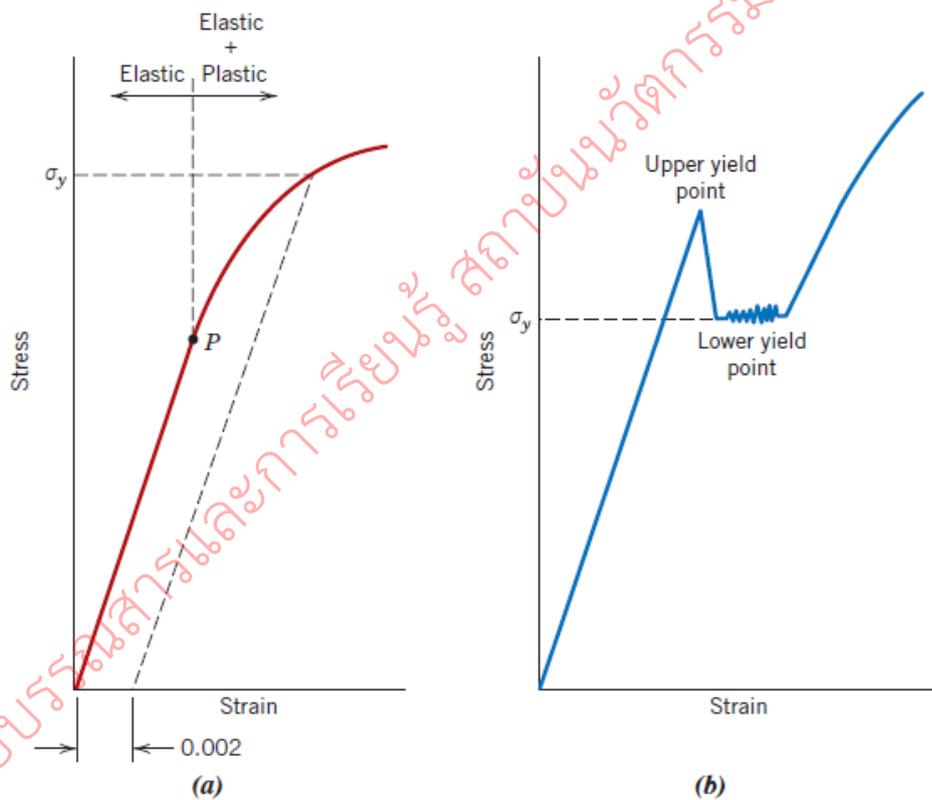


รูปที่ 1.6 กราฟแสดงตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเหนียวระหว่างการทดสอบแรงดึง โดยเกิดคอคอด ภาพแทรกแสดงลักษณะของชิ้นงานระหว่างการทดสอบ [3]

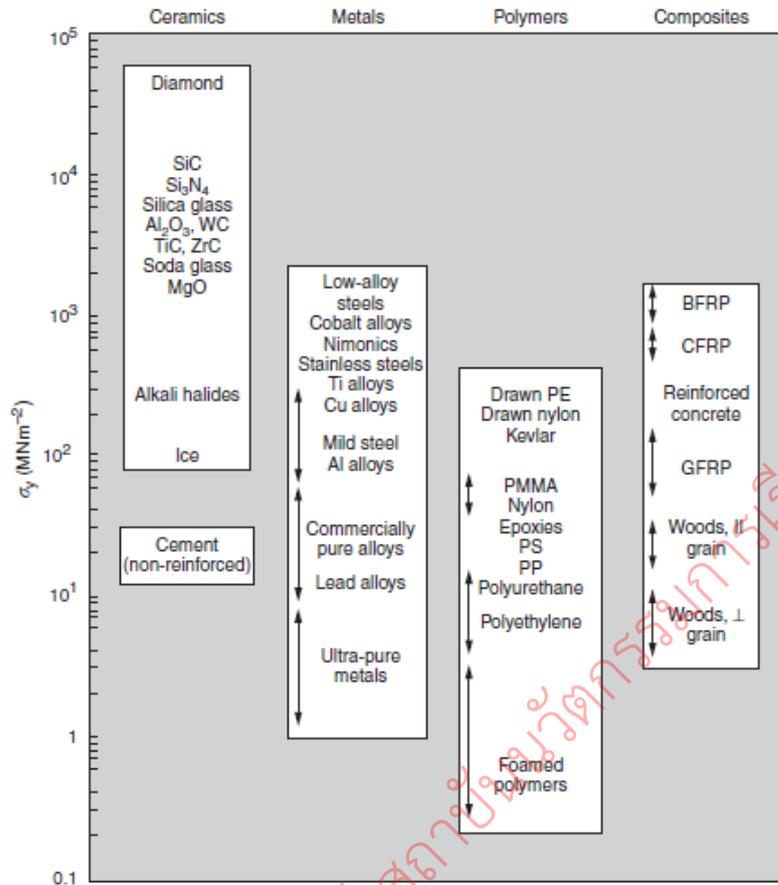
**1.3.2 สมบัติความยืดหยุ่น (Elastic properties)** โมดูลัสยืดหยุ่น หรือ ยังโมดูลัส (Young modulus,  $E$ ) คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดในช่วงยืดหยุ่นเขียนตามความสัมพันธ์ กฎของฮุก (Hooke's law) ที่แสดงไว้ดังสมการ 1.4 ค่าโมดูลัสนี้สัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงยืดเหนียวระหว่างอะตอม วัสดุที่มีแรงยึดเหนียวระหว่างอะตอมสูงมักจะแสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งแสดงสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุบางชนิด ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นตัวบ่งบอกถึงความแข็งแกร่ง (Stiffness) ของวัสดุ วัสดุแข็งที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างได้น้อยกว่าเมื่ออยู่ภายใต้ภาระแรงกระทำที่เท่ากัน หากให้แรงกระทำน้อย วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบชั่วคราวหรือยืดหยุ่นเท่านั้น

**1.3.3 ความแข็งแรงจุดคราก (Yield strength point)** เมื่อมีความเค้นกระทำต่อวัสดุ วัสดุจะเกิดความเครียดหรือวัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อนำความเค้นออกแล้ววัสดุคืนสู่สภาพเดิม ลักษณะนี้เรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบชั่วคราวหรือแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) หากเพิ่มความเค้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดๆ หนึ่งแล้วปล่อยแรงกระทำ ปรากฏว่าวัสดุไม่กลับตำแหน่งเริ่มต้น ลักษณะนี้เรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) โดยจุดวิกฤติที่บ่งบอกการเปลี่ยนรูปถาวรเรียกว่า จุดคราก (Yield point) ช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดครากเรียกว่า ขีดจำกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) หากให้แรงหรือมีระยะยืดเกินจุดนี้วัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวรหรือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดมีลักษณะเป็นเส้นตรง ผ่านจุดครากไปแล้วความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรงเรียกจุดนี้ว่า ขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit)

ในวัสดุส่วนใหญ่ค่าขีดจำกัดยืดหยุ่นและขีดจำกัดสัดส่วนมีค่าใกล้เคียงกันมากไม่สามารถหาค่าได้อย่างชัดเจนแน่นอน ด้วยเหตุนี้สามารถสร้างเส้นตรงขนานที่แทนความเค้นแล้วลากขนานไปกับช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น จนกระทั่งตัดเส้นกราฟความเค้น-ความเครียด จุดตัดที่ได้คือ ความแข็งแรงจุดคราก (Yield strength point) ซึ่งโดยปกติคือ 0.002 ดังรูปที่ 1.7(a) วัสดุบางชนิดเกิดการเปลี่ยนรูปชั่วคราวเป็นแบบถาวรอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์จุดคราก (Yield point phenomenon) การเปลี่ยนรูปถาวรเริ่มต้นจากความเค้นจากจุดครากบน (Upper yield point) ดังรูปที่ 1.7(b) และลดลงมาที่จุดครากล่าง (Lower yield point) ดังนั้นวัสดุประเภทนี้ค่าความแข็งแรงจุดครากจะหาได้จากการหาค่าความแข็งแรงจุดคราก ความแข็งแรงจุดครากจะถูกใช้เป็นความเค้นเฉลี่ยที่สัมพันธ์กับจุดครากด้านล่าง เนื่องจากมีความชัดเจน [4] และความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุชนิดต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.7 (a) การคำนวณหาค่าความแข็งแรงจุดคราก 0.002 ของเหล็ก (b) พฤติกรรมจุดครากบนและล่างของเหล็กคาร์บอนต่ำ [1]



รูปที่ 1.8 ค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุชนิดต่างๆ [7]

**1.3.4 ความเหนียว (Ductility)** ความเหนียวเป็นสมบัติเชิงกลที่ทดสอบการเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวรของวัสดุก่อนเกิดความเสียหาย โลหะที่แทบไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวรเลยขณะแตกหักเรียกว่าโลหะเปราะ พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของทั้งโลหะเหนียวและโลหะเปราะแสดงไว้ในรูปที่ 1.9

ในกรณีการทดสอบความเหนียวเป็นค่าที่ใช้วัดในการบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (Percent elongation, %EL) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายการเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวรของวัสดุก่อนเกิดความเสียหายสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\%EL = \left( \frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100 \quad (1.5)$$

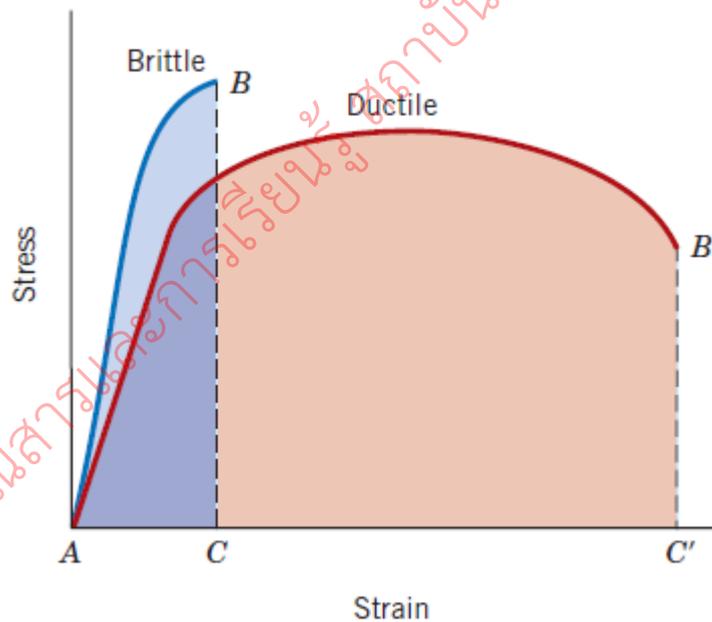
เมื่อ  $l_f$  คือ ระยะความยาวเกจที่วัดหลังจากขึ้นงานแตกหัก  
 $l_0$  คือ ความยาวเริ่มต้น

นอกจากนี้สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Percent reduction in area, %RA) ที่จุดแตกหักก่อนและหลังการทดสอบได้จากสมการ

$$\%RA = \left( \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100 \quad (1.6)$$

เมื่อ  $A_f$  คือ พื้นที่หน้าตัดสุดท้ายที่จุดแตกหัก  
 $A_0$  คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น

ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัดไม่ขึ้นอยู่กับทั้ง  $l_0$  และ  $A_0$  นอกจากนี้ วัสดุที่มีค่า %EL และ %RA โดยทั่วไปจะแตกต่างกัน โลหะส่วนใหญ่มีความเหนียวอย่างน้อยระดับปานกลางที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามโลหะบางชนิดจะเปราะเมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าความเหนียวนี้มีประโยชน์ในการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นลักษณะแท่ง เส้น เส้นลวด แผ่นบาง เหล็กไอบีม หรือ เส้นใย เป็นต้น



รูปที่ 1.9 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของโลหะเปราะเปรียบเทียบกับโลหะเหนียว [1]

#### 1.4 ความเป็นแอนอีลาสติก (Anelasticity) [4-6]

คุณสมบัติของวัสดุที่ไม่กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ทันทีหลังจากที่ถูกแรงกระทำ หมายความว่าเมื่อวัสดุแอนอีลาสติกถูกยืดออกหรือบีบอัด มันจะไม่กลับคืนสู่รูปร่างเดิมทันทีที่แรงนั้นถูกปลดออก

แต่จะค่อยๆ กลับคืนสู่สภาพเดิม ซึ่งต่างจากวัสดุที่เป็นไปตามทฤษฎีความยืดหยุ่น (Elastic) ที่จะกลับคืนสู่สภาพเดิมทันที

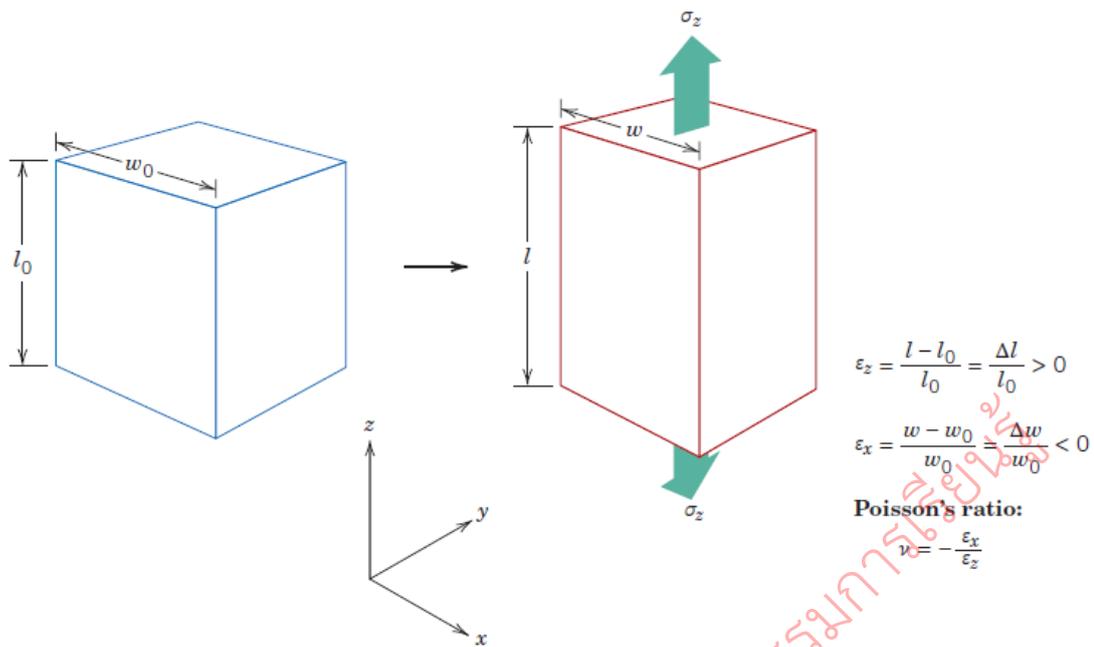
อีกนัยสำคัญกล่าวคือการเสียรูปยืดหยุ่นจะไม่ขึ้นกับเวลา ความเค้นที่กระทำก่อให้เกิดความเครียดยืดหยุ่นทันทีที่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่ความเค้นยังคงอยู่ นอกจากนี้ยังมีสมมติฐานว่าเมื่อคลายแรง ความเครียดจะกลับคืนสู่สภาพเดิมอย่างสมบูรณ์ (ความเครียดจะกลับคืนสู่ศูนย์ทันที) อย่างไรก็ตาม ในวัสดุวิศวกรรมส่วนใหญ่มักจะมียอดคงที่ประกอบของความเครียดยืดหยุ่นที่ขึ้นอยู่กับเวลา ด้วยการขึ้นรูปยืดหยุ่นจะดำเนินต่อไปหลังจากรับแรง และเมื่อคลายแรงแล้ว จะต้องใช้เวลาจำกัดในการคืนตัวอย่างสมบูรณ์ พฤติกรรมความยืดหยุ่นที่ขึ้นอยู่กับเวลานี้เรียกว่าภาวะแอนอีลาสติก (Anelasticity) ซึ่งเกิดจากกระบวนการทางจุลภาคและอะตอมที่ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเสียรูป สำหรับโลหะส่วนประกอบที่ขาดความยืดหยุ่นมักจะมีขนาดเล็กและมักถูกละเลย

### 1.5 คุณสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ (Elastic properties of materials) [4-6]

เมื่อความเค้นดึงกระทำต่อชิ้นงาน โลหะ การยืดตัวแบบยืดหยุ่นและความเครียดที่เกิดขึ้น  $\epsilon_z$  จะส่งผลให้เกิดทิศทางการความเค้นที่กระทำ (ซึ่งโดยทั่วไปจะถือว่าเป็นทิศทาง  $z$ ) ดังแสดงในรูปที่ 1.10 จากการยืดตัวดังกล่าว จะเกิดการหดตัวในทิศทางด้านข้าง ( $x$  และ  $y$ ) ในแนวตั้งฉากกับแรงกระทำจากการหดตัวเหล่านี้ สามารถหาค่าความเครียดอัด  $\epsilon_x$  และ  $\epsilon_y$  ได้ หากความเค้นที่กระทำเป็นแกนเดียว (เฉพาะในทิศทาง  $z$ ) และวัสดุเป็นไอโซทรอปิก ดังนั้น  $\epsilon_x = \epsilon_y$  และพารามิเตอร์นี้เรียกว่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)  $\nu$  ถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนของความเครียดด้านข้างต่อความเครียดตามแนวแกน

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (1.7)$$

สำหรับวัสดุโครงสร้างแท่งทุกชนิด  $\epsilon_x$  และ  $\epsilon_y$  จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม ดังนั้น จึงใส่เครื่องหมายลบไว้ในนิพจน์ก่อนหน้าเพื่อให้แน่ใจว่า  $\nu$  เป็นค่าบวก ในทางทฤษฎี อัตราส่วนปัวซองของ (Poisson's ratio) สำหรับวัสดุไอโซทรอปิกเท่ากับ 0.25 นอกจากนี้ ค่าสูงสุดของ  $\nu$  (หรือค่าที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสุทธิ) คือ 0.50 สำหรับโลหะและโลหะผสมหลายชนิด ค่าอัตราส่วนปัวซองอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 ตารางที่ 1.2 แสดงค่า  $\nu$  สำหรับวัสดุโลหะทั่วไป



รูปที่ 1.10 แผนผังแสดงการยืดตามแนวแกน (z) (ความเครียดเชิงบวก  $\epsilon_z$ ) และการหดตัวด้านข้าง (x) (ความเครียดเชิงลบ  $\epsilon_x$ ) ซึ่งเกิดจากการใช้งานแรงดึงตามแนวแกน ( $\sigma_z$ ) [1]

ตารางที่ 1.2 ค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุโลหะทั่วไป

Metal Alloy	Poisson's ratio
Aluminum	0.33
Brass	0.34
Copper	0.34
Magnesium	0.29
Nickel	0.31
Steel	0.30
Titanium	0.34
Tungsten	0.28

### 1.6 ความเค้นจริงและความเครียดจริง (True stress and strain) [4-6]

การลดลงของความเค้นต่อการเสียรูปอย่างต่อเนื่องหลังจากจุดสูงสุด (รูปที่ 1.6) ดูเหมือนจะบ่งชี้ว่าโลหะมีความเค้นลดลง ซึ่งไม่เป็นความจริงเลย ในความเป็นจริงแล้วโลหะมีความเค้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานกำลังลดลงอย่างรวดเร็วภายในบริเวณคอคอด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการเสียรูป ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของชิ้นงานลดลง ความเค้นที่คำนวณ

จากสมการ 1.1 จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดเดิมก่อนการเสียรูป และไม่ได้คำนึงถึงการลดลงของพื้นที่บริเวณคอคอด

บางครั้งการใช้รูปแบบความเค้น-ความเครียดจริงอาจมีความหมายมากกว่า ความเค้นจริง  $\sigma_T$  นิยามจากอัตราส่วนของแรงที่กระทำ ( $F$ ) ต่อพื้นที่หน้าตัดปัจจุบันของวัสดุ ( $A_i$ ) ที่เกิดการเสียรูป สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i} \quad (1.8)$$

นอกจากนี้ความเครียดจริง  $\varepsilon_T$  นิยามว่าความยาวปัจจุบันของวัสดุ ( $l_i$ ) และความยาวเริ่มต้นของวัสดุ ( $l_0$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\varepsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (1.9)$$

หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดขึ้นระหว่างการเสียรูปจะได้

$$A_i l_i = A_0 l_0 \quad (1.10)$$

ดังนั้นความเค้นและความเครียดจริงแสดงความสัมพันธ์กันตามสมการดังนี้

$$\sigma_T = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (1.11)$$

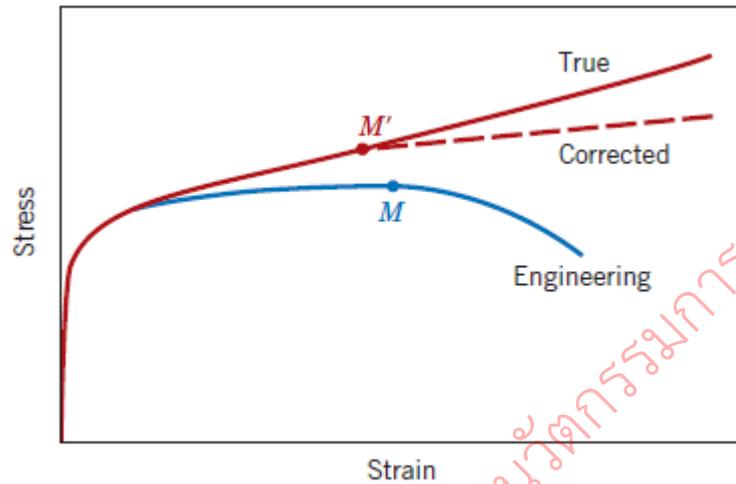
และ

$$\varepsilon_T = \ln(1 + \varepsilon) \quad (1.12)$$

สมการ 1.11 และ 1.12 ใช้ได้เฉพาะในช่วงเริ่มต้นของคอคอดเท่านั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ว ควรคำนวณความเค้นจริงและความเครียดจริงจากการวัดแรงที่กระทำ พื้นที่หน้าตัด และความยาวแท้จริง

รูปที่ 1.11 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดจริง ข้อสังเกตคือ แรงดึงที่แท้จริงที่จำเป็นต่อความเครียดที่เพิ่มขึ้นจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปจนผ่านจุดดึง  $M'$  การเกิดคอคอด

คอคอดจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดสภาวะความเค้นที่ซับซ้อนภายในบริเวณคอคอด (กล่าวคือ การมีองค์ประกอบของความเค้นอื่นๆ นอกเหนือจากความเค้นตามแนวแกน) ดังนั้น ความเค้นที่ถูกต้อง (ตามแนวแกน) ภายในคอคอดจึงมีค่าน้อยกว่าความเค้นที่คำนวณจากแรงกระทำและพื้นที่หน้าตัดของคอคอดเล็กน้อย ซึ่งนำไปสู่เส้นโค้งที่แก้ไขแล้ว (Corrected) แสดงในรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 กราฟการเปรียบเทียบพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของแรงดึงทั่วไป และความเค้น-ความเครียดจริง [1]

## บทที่ 2

### ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester)

เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่น ความต้านทานแรงดึง การยืดตัว และความเหนียว เป็นต้น ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ โครงสร้างหลัก (Frame) โหลดเซลล์ (Load cell) หัวจับชิ้นทดสอบ (Grips) ระบบขับเคลื่อน (Drive system) ทรอสเฮด (Crosshead) เครื่องมือวัดการยืดตัว (Extensometer) และระบบควบคุมและแสดงผล (Control and display system) เป็นต้น ส่วนประกอบหลักของเครื่องทดสอบแรงดึงมีดังนี้



รูปที่ 2.1 เครื่อง Tensile Tester รุ่น KUM-4A, ขนาดแรงทดสอบสูงสุด 50 kN จากบริษัท KM&T ประเทศเกาหลี

## 2.1 โครงสร้างหลัก (Frame)

โครงสร้างหลักทำหน้าที่เป็น โครงสร้างรองรับส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องถูกออกแบบ มาให้มีความแข็งแรงและมีความเสถียรในการทดสอบ เพื่อรองรับแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ แรงดึงวัสดุ ซึ่งมีลักษณะและหน้าที่ดังนี้:

### 2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงสร้าง

- 1) โครงสร้างหลักมักจะทำจากวัสดุที่แข็งแรงและทนทาน เช่น เหล็กหล่อ หรือ อะลูมิเนียม เพื่อให้สามารถรองรับแรงดึงที่สูงได้โดยไม่เกิดการบิดงอหรือเสียรูป
- 2) โครงสร้างบางชนิดอาจใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา แต่ยังคงความแข็งแรง เช่น อะลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน

### 2.1.2 การออกแบบที่เสถียร

- 1) โครงสร้างจะออกแบบให้มีความแข็งแรงและมั่นคง เพื่อให้เครื่องไม่เคลื่อนที่ ขณะทดสอบ และสามารถรับแรงได้โดยไม่ทำให้ผลการทดสอบผิดเพี้ยน
- 2) การออกแบบมักมีการแบ่งเป็นสองคอลัมน์ที่ยืนขึ้นหรือเรียกว่า Dual-column ซึ่ง ช่วยเพิ่มความเสถียรและสามารถทดสอบวัสดุได้ในระยะทางที่ยืดหยุ่น

### 2.1.3 การจัดวางส่วนประกอบต่างๆ

- 1) ฐานรองรับ จะอยู่ด้านล่างของโครงสร้าง เพื่อให้เครื่องมีความเสถียรและไม่ เคลื่อนที่ขณะทดสอบ
  - 2) คอลัมน์แนวตั้ง ซึ่งรองรับส่วนต่างๆ เช่น หัวจับขึ้นทดสอบและระบบขับเคลื่อน จะถูกวางในแนวตั้งเพื่อให้สามารถยืดหรือหดขึ้นทดสอบได้ตามต้องการ
- การวางตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆ ให้ห่างจากแรงที่เกิดขึ้นขณะทดสอบให้ได้มากที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการบิดเบี้ยวของโครงสร้าง

### 2.1.4 ความสามารถในการปรับตั้ง

- 1) โครงสร้างต้องสามารถปรับความสูงและตำแหน่งของส่วนที่ใช้จับขึ้นทดสอบได้ เพื่อให้สามารถทดสอบวัสดุในขนาดที่แตกต่างกันได้
- 2) ส่วนของครอสเฮด (Crosshead) ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง โดยมีการควบคุมอย่าง แม่นยำผ่านระบบขับเคลื่อน (Drive system)

### 2.1.5 การทดสอบในสถานะแรงสูง

- 1) โครงสร้างจะถูกออกแบบให้สามารถรองรับแรงสูงในการใช้ในการทดสอบวัสดุ ที่มีความแข็งแรงสูง เช่น โลหะ หรือวัสดุที่ต้องการการทดสอบในระดับแรงดึงสูง

2) นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันความปลอดภัย ที่จะช่วยให้เครื่องทดสอบไม่เกิดความเสียหายขณะทดสอบวัสดุที่มีแรงดึงมากเกินไป

### 2.1.6 ขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนัก

1) ขนาดของโครงสร้างขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องทดสอบ เช่น เครื่องทดสอบแรงดึงแบบตั้งโต๊ะ (Benchtop) จะมีขนาดเล็กกว่าเครื่องทดสอบแรงดึงแบบคอลัมน์คู่ (Dual-column) ซึ่งใช้ในห้องปฏิบัติการที่ต้องการทดสอบวัสดุในขนาดใหญ่หรือวัสดุที่มีแรงดึงสูง

2) โครงสร้างยังต้องรองรับน้ำหนักที่สามารถทดสอบวัสดุได้หลากหลายตั้งแต่หลายกรัมจนถึงหลายตัน

### 2.1.7 การรักษาความแม่นยำในการทดสอบ

1) การออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงจะช่วยลดการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะส่งผลให้การวัดแรงดึงและการยึดตัวของวัสดุมีความแม่นยำสูง

2) โครงสร้างยังต้องมีการรับประกันว่าระยะห่างระหว่างหัวจับขึ้นทดสอบทั้งสองข้างสามารถปรับได้อย่างแม่นยำ

การออกแบบและสร้างโครงสร้างของเครื่องทดสอบแรงดึงจึงเป็นการผสมผสานระหว่างความแข็งแรง ความเสถียร และความสามารถในการปรับตัวให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุที่แตกต่างกัน

## 2.2 โหลดเซลล์ (Load cell)

โหลดเซลล์ (Load cell) เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดแรงที่กระทำต่อวัสดุในระหว่างการทดสอบแรงดึง โดยจะเปลี่ยนแรงที่เกิดขึ้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้อย่างแม่นยำ โดยโหลดเซลล์เป็นส่วนสำคัญในเครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลแรงในระหว่างการทดสอบ

### 2.2.1 หลักการทำงานของโหลดเซลล์

โหลดเซลล์ทำงานโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวทางกล (Mechanical movement) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในส่วนที่มีความตึงเครียดภายในโหลดเซลล์ ตัวโหลดเซลล์จะมีวัสดุพิเศษที่สามารถบิดเบี้ยวได้เมื่อมีแรงกดหรือดึงเข้ามากระทำ และการบิดเบี้ยวนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านการใช้เทคโนโลยีการวัดค่าความต้านทาน (Resistive strain gauges) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเมื่อมีแรงมากระทำ ส่วนประกอบของโหลดเซลล์มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1) **ตัววัดการยืด (Strain gauges)** คือเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของการยืดหรือหดตัวที่เกิดขึ้นในวัสดุที่ทำงานร่วมกับ โหลดเซลล์ โดยการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการยืดหรือหดตัวนี้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่กระทำ ส่วนใหญ่ทำจากเส้นลวดโลหะขนาดเล็กขดเป็นรูปร่างต่างๆ อยู่บนแผ่นฉนวน หรือเป็นแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำ ซึ่งมีความไวสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าแบบลวดโลหะแต่ก็มีราคาแพงสูงกว่าเช่นกัน

2) **โครงสร้างโลหะ (Metallic structure)** โหลดเซลล์มีโครงสร้างโลหะที่ใช้รับแรงดึงหรือกดจากภายนอก โครงสร้างนี้จะช่วยในการถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นไปยังตัววัดการยืด โดยไม่มีการเสียหายหรือบิดเบี้ยว และออกแบบมาให้สามารถทนต่อแรงที่สูงและมีความแข็งแรง

3) **วงจรปรับสัญญาณ (Signal conditioning circuit)** หลังจากที่ตัววัดการยืดได้แปลงการยืดตัวเป็นการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าแล้ว สัญญาณนี้มักจะมีค่าน้อยและไม่สามารถใช้ได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วงจรปรับสัญญาณเพื่อทำการขยายสัญญาณ (Amplification) และปรับค่ากลางเพื่อให้สัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณที่ใช้ได้ในการประมวลผลและแสดงผลการทดสอบ

## 2.2.2 ประเภทของโหลดเซลล์

โหลดเซลล์มีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน ได้แก่

1) **โหลดเซลล์สำหรับแรงกด (Compression load cells)** ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการวัดแรงกด เช่น การทดสอบแรงที่กระทำในการบีบหรือกดวัสดุ โดยแรงกดจะทำให้โหลดเซลล์บีบตัวและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ

2) **โหลดเซลล์สำหรับแรงดึง (Tension load cells)** เป็นโหลดเซลล์สำหรับการทดสอบแรงดึง เช่น การทดสอบแรงดึงของวัสดุที่ยืดหรือขยาย โดยแรงดึงจะทำให้โหลดเซลล์ขยายตัวและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดค่าได้

3) **โหลดเซลล์แบบแผ่นบาง (Shear beam load cells)** เป็นโหลดเซลล์สำหรับใช้ในกรณีที่มีแรงเฉือน (Shear Force) ซึ่งมักจะพบในเครื่องทดสอบที่ใช้ในการวัดแรงกดเฉือน

4) **โหลดเซลล์จุดเดียว (Single point load cells)** เป็นโหลดเซลล์สำหรับใช้ในการวัดแรงที่กระทำในจุดเดียว เช่น การชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่ง

5) โหลดเซลล์แบบ S (S-Type load cells) เป็นโหลดเซลล์สำหรับใช้ในการวัดแรงดึงหรือแรงกด โดยมีรูปทรงเหมือนตัว S เหมาะสำหรับการทดสอบแรงดึงในพื้นที่จำกัด

### 2.2.3 การเลือกใช้โหลดเซลล์

ในการเลือกโหลดเซลล์สำหรับการทดสอบแรงดึง จำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติหลายประการ ได้แก่:

- 1) ความสามารถในการรับน้ำหนัก โหลดเซลล์ต้องสามารถรองรับแรงที่ต้องการทดสอบได้ เช่น ค่าความต้านทานที่สูงสุดที่เครื่องสามารถรองรับ
- 2) ความแม่นยำและความละเอียด โหลดเซลล์ต้องมีความละเอียดในการวัดแรงที่เปลี่ยนแปลงได้แม่นยำเพื่อให้ผลทดสอบมีความถูกต้อง
- 3) การปรับเทียบ (Calibration) การปรับเทียบโหลดเซลล์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผลทดสอบแม่นยำและเชื่อถือได้

### 2.2.4 ความสำคัญของโหลดเซลล์ในเครื่องทดสอบแรงดึง

โหลดเซลล์ทำหน้าที่วัดแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ ซึ่งทำให้สามารถคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่กำลังทดสอบได้ เช่น ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว (Elongation) และอื่นๆ ผลการวัดจากโหลดเซลล์จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยให้เครื่องทดสอบแรงดึงสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำในการวัดแรงดึงที่กระทำกับวัสดุต่างๆ และช่วยให้การทดสอบมีความน่าเชื่อถือ

### 2.3 หัวจับขึ้นทดสอบ (Grips)

หัวจับขึ้นทดสอบเป็นส่วนที่สำคัญของเครื่องทดสอบแรงดึงที่ทำหน้าที่ยึดและยึดจับขึ้นทดสอบในระหว่างการทดสอบแรงดึง เพื่อป้องกันการหลุดหรือการเคลื่อนที่ของวัสดุที่กำลังทดสอบ หัวจับต้องมีความสามารถในการปรับให้เหมาะสมกับวัสดุที่แตกต่างกันและต้องมีความแม่นยำในการจับขึ้นทดสอบให้แน่นหนาและปลอดภัย

### 2.3.1 ลักษณะของหัวจับขึ้นทดสอบ



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.2 หัวจับขึ้นงานแบบ ก) หัวจับแบบแผ่นจับเรียบ (Flat grips)

และ ข) หัวจับแบบจับกลม (Round grips)

1) การออกแบบและประเภทของหัวจับ หัวจับสามารถออกแบบได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่ต้องการทดสอบ เช่น

- หัวจับแบบแผ่นจับเรียบ (Flat grips): สำหรับชิ้นงานที่เป็นแผ่นหรือชิ้นงานที่มีรูปทรงแบนที่มีความเรียบและแข็งแรง เช่น แผ่นโลหะ ยาง หรือฟิล์มพลาสติกบาง ๆ

- หัวจับแบบจับกลม (Round grips): สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือกลม เช่น ลวด เส้นใย แท่งโลหะกลม หรือแท่งพอลิเมอร์

2) วัสดุที่ใช้ในการสร้างหัวจับ หัวจับมักทำจากวัสดุที่แข็งแรงและทนทาน เช่น เหล็กกล้า หรืออลูมิเนียมอัลลอย เพื่อรองรับแรงที่สูงระหว่างการทดสอบ

สำหรับการจับวัสดุที่มีความลื่นหรือเปราะบาง เช่น ยาง หรือ พลาสติก อาจใช้ วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น คาร์ไบด์ หรือทังสเทน เพื่อให้การจับยึดได้ดีและไม่ทำให้วัสดุเสียหาย

### 3) ระบบจับยึด

- ระบบจับด้วยมือ (**Manual grips**): เป็นหัวจับที่ใช้แรงมือในการบีบจับวัสดุ เช่น หัวจับแบบมีสปริง เป็นต้น

- ระบบจับอัตโนมัติ (**Automated grips**): จะใช้แรงดันอากาศหรือมอเตอร์ในการจับวัสดุ เช่น หัวจับแบบอัดอากาศ (**Pneumatic grips**) ที่สามารถจับวัสดุได้อย่างรวดเร็วและมั่นคง

4) การปรับขนาดหัวจับ หัวจับต้องมีความสามารถในการปรับขนาดให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นทดสอบต่างๆ ทั้งวัสดุที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่ โดยใช้การปรับขยายหรือยืดหดได้ หัวจับจะถูกออกแบบให้สามารถรองรับวัสดุที่มีรูปทรงหรือขนาดต่างๆ เช่น เส้นลวด ขดลวด หรือแผ่นบางๆ

### 5) ฟังก์ชันการยึดแน่น

- วัสดุที่มีความเปราะบาง (**Brittle materials**) เช่น เซรามิกหรือแก้ว ต้องเลือกหัวจับที่ไม่ทำให้วัสดุแตกหรือชำรุด

- วัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง (**Ductile materials**) เช่น เหล็กหรือพลาสติก ต้องเลือกหัวจับที่สามารถยึดวัสดุได้แน่นหนาโดยไม่ทำให้เกิดการเสียรูปของวัสดุ

6) การปรับแรงกดของหัวจับ การปรับแรงกดของหัวจับในบางครั้งอาจต้องปรับแรงกดของหัวจับให้เหมาะสมกับวัสดุที่ทดสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการบีบหรือการเคลื่อนที่ของวัสดุระหว่างการทดสอบ ซึ่งอาจทำให้ผลการทดสอบไม่แม่นยำ

### 2.3.2 หน้าทีของหัวจับชิ้นทดสอบ

1) ยึดวัสดุให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ หัวจับต้องสามารถยึดวัสดุให้มั่นคงในระหว่างการทดสอบแรงดึง โดยไม่ให้วัสดุเคลื่อนที่

2) ป้องกันการเสียหายของวัสดุ หัวจับจะต้องออกแบบให้ไม่ทำให้วัสดุที่ทดสอบเสียหาย หรือเปลี่ยนรูปร่างระหว่างการทดสอบ

3) ช่วยให้การทดสอบมีความแม่นยำ การจับวัสดุอย่างแน่นหนาจะช่วยให้เครื่องทดสอบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและให้ผลที่ต้องการ

โดยปกติแล้วหัวจับขึ้นทดสอบมีความสำคัญในการทำให้เครื่องทดสอบแรงดึงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องเลือกประเภทและวัสดุที่เหมาะสมตามชนิดของวัสดุที่ทดสอบ และต้องมีการปรับตั้งให้เหมาะสมกับการทดสอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้

## 2.4 ระบบขับเคลื่อน (Drive system)

ระบบขับเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่และควบคุมแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุตัวอย่าง ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงจะเป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิก หรือระบบอื่นๆ โดยมีหลักการการทำงานคือการควบคุมการเคลื่อนที่ของครอสเฮด เพื่อการควบคุมความเร็วในการดึงหรือบีบขึ้นทดสอบในการทดสอบเป็นไปอย่างแม่นยำและปลอดภัย โดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ดังนี้

**2.4.1 มอเตอร์ (Motor)** เป็นอุปกรณ์หลักที่ให้พลังงานในการเคลื่อนที่ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับความเร็วและแรงบิดได้ตามต้องการ

**2.4.2 ระบบส่งกำลัง (Transmission system)** เช่น เกียร์ ลูกปืน สายพาน หรือแท่ง ที่ถ่ายทอดแรงและการเคลื่อนที่จากมอเตอร์ไปยังแท่งตัวอย่างช่วยปรับความเร็วและแรงตามความเหมาะสมของการทดสอบ

**2.4.3 ระบบขับเคลื่อน (Drive mechanism)** อาจเป็นลักษณะของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก ระบบสายรัด หรือกลไกแบบสกรู ที่ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดึงและเคลื่อนที่ตัวอย่างในแนวตรงในเครื่องทดสอบแรงดึงทั่วไปจะใช้สกรูนำ (Lead screw) ซึ่งหมุนแล้วแปลงเป็นการเคลื่อนที่ตรงและแม่นยำ

**2.4.4 ระบบเซ็นเซอร์และวัดค่า (Sensors)** เซ็นเซอร์วัดแรง (Load cell) จะอยู่ในสายพานหรือกลไกขับเคลื่อน เพื่อวัดแรงที่กระทำต่อวัสดุแบบเรียลไทม์ เซ็นเซอร์วัดการยัดตัว (Displacement sensor) สำหรับวัดการเคลื่อนที่แบบละเอียด

## 2.5 ครอสเฮด (Crosshead)

ครอสเฮดเป็นส่วนประกอบที่เครื่องย้ายได้ซึ่งมีหน้าที่ออกแรงกับชิ้นงานทดสอบ โดยจะเคลื่อนขึ้นและลง เพื่อทดสอบแรงดึงหรือแรงกดชิ้นงานทดสอบ และการควบคุมการเคลื่อนที่ของครอสเฮดมีความสำคัญในการทดสอบแรงดึง

## 2.6 เครื่องมือวัดการยืดตัว (Extensometer)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดการยืดตัวของชิ้นทดสอบระหว่างการทดสอบ ช่วยในการคำนวณความเครียดและการยืดตัวของวัสดุ

## 2.7 ระบบควบคุมและแสดงผล (Control and display system)

ระบบควบคุมรวมถึงคอมพิวเตอร์หรือจอแสดงผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง โดยทำการบันทึกและแสดงผลข้อมูลการทดสอบ เช่น กราฟแรงดึงเทียบกับการยืดตัว เป็นต้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบแรงดึงทำโดยนำชิ้นงานของวัสดุที่เตรียมไว้เข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งเครื่องจะออกแรงดึงในแนวแกนเดียวไปยังตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ จนกว่าวัสดุจะเกิดการเสียรูปถาวรหรือขาดออกจากกัน โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนดังนี้

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

วัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีขนาดและรูปร่างที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล เช่น ASTM หรือ ISO (ตารางที่ 3.1) ซึ่งกำหนดรายละเอียดดังนี้:

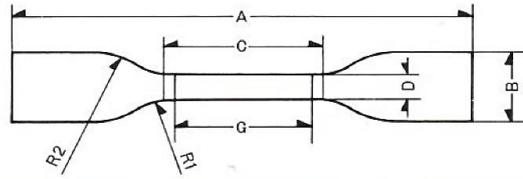
**3.1.1 รูปร่างของชิ้นงานทดสอบ** ตัวอย่างมีลักษณะเป็นแท่งกลมหรือแท่งแผ่นแบนขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ โดยทั่วไปตัวอย่างชิ้นงานจะมีส่วนขนานตรงกลางที่เป็นพื้นที่สำหรับการทดสอบ และส่วนหัวที่ใหญ่ขึ้นสำหรับการยึดจับ

#### 3.1.2 ขนาดของชิ้นงาน

1) สำหรับมาตรฐาน ASTM E8 ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแบบแผ่นแบนหรือแท่งกลม โดยมีความยาวและขนาดพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดไว้ เช่น ความยาวเกจ (Gauge length) 50 มิลลิเมตร หรือ 200 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร สำหรับแท่งกลม

2) สำหรับมาตรฐาน ISO 6892 ขนาดของชิ้นงานอาจจะแตกต่างกันเล็กน้อยแต่โดยทั่วไปจะคล้ายกับ ASTM E8 โดยมีการกำหนดอัตราส่วนความยาวเกจต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ชัดเจน

ตาราง 3.1 ขนาดของการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานต่างๆ  
(Dumbbell co., LTD)



Standard No.	TYPE	A	B	C	D	G	R1	R2
JISK-6251 (JISK-6301)	1	120	25	40	10 ± 0.1	40 ± 0.5	21	25
JISK-6251 (JISK-6301)	2	100	25	20	10 ± 0.1	20 ± 0.5	21	25
JISK-6251 (JISK-6301)	3	100	25	20	5 ± 0.1	20 ± 0.5	11	25
JISK-6251 (JISK-6301)	4	100	15	20	5 ± 0.1	20 ± 0.5	40	—
JISK-6251	5	115	25	33	6 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	25 ± 0.5	14	25
JISK-6251	6	75	12.5	25	4 ± 0.1	20 ± 0.5	8	12.5
JISK-6251	7	35	6	12	2 ± 0.1	10 ± 0.5	3	3
JISK-6251	8	50	8.5	16	4 ± 0.1	10 ± 0.5	7.5	10
JISK-6259	I-shaped	63	6.5	50	2 ± 0.2	—	1	—
JISK-6273 (JISK-6262:1997)	I-shaped	38~63	6.5	23~48	2 ± 0.2	—	1	—
JISK-6723		115	25 ± 1	33 ± 2	6 ± 0.4	25 ± 1	14 ± 1	25 ± 2
JISK-6732	Fig 3	120	25 ± 1	40 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	10 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	40 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	14 ± 1	25 ± 1
JISK-6734		150-	20 ± 0.5	60 ± 0.5	10 ± 0.2	50 ± 0.5	60-	—
JISK-6760 (Abolished in 1997)		115-	25 ± 1	33 ± 2	6 ± 0.4	25 ± 1	14 ± 1	25 ± 2
JISK-6767		152	25	55	13	25 or 50	13	13
JISK-6781	Fig 3	120	25	40	10	40	14	25
JISK-6783	Fig 3	120	25 ± 1	40	10 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	40 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	14 ± 1	25 ± 1
JISK-6871 (Abolished in 1997)		175	20 ± 0.5	60 ± 0.5	10 ± 0.5	50 ± 0.5	60	—
JISK-7113	1	175	20 ± 0.5	60 ± 0.5	10 ± 0.5	50 ± 0.5	60	—
JISK-7113	1 (½)	75-	10 ± 0.5	30 ± 0.5	5 ± 0.2	25 ± 0.5	30	—
JISK-7113	2	115	25 ± 1	33 ± 2	6 ± 0.4	25 ± 1	14 ± 1	25 ± 2
JISK-7113	2 (½)	60-	12 ± 1	16 ± 1	3 ± 0.2	12 ± 0.5	7 ± 0.5	12 ± 1
JISK-7113	2 (⅓)	57-	8 ± 0.5	11 ± 1	2 ± 0.2	8 ± 0.5	4.7 ± 0.5	8 ± 0.5
JISK-7127 (ISO 527-3)	TYPE 5	115-	25 ± 1	33 ± 2	6 ± 0.4	25 ± 0.25	14 ± 1	25 ± 2
JISK-7127 (ISO 527-3)	TYPE 1B	150-	20 ± 0.5	60 ± 0.5	10 ± 0.2	50 ± 0.5	60-	—
JISK-7160	2	60 ± 1	10 ± 0.2	10 ± 0.2	3 ± 0.05	—	10 ± 1	—
JISK-7160	3	80 ± 2	15 ± 0.5	10 ± 0.2	10 ± 0.2	—	20 ± 1	—
JISK-7160	4	60 ± 1	10 ± 0.2	—	3 ± 0.1	—	15 ± 1	—
JISK-7161-2 (ISO 527-2)	1A	170	20 ± 0.2	80 ± 2	10 ± 0.2	50 ± 0.5	20~25	—
JISK-7161-2 (ISO 527-2)	1B	150-	20 ± 0.2	60 ± 0.5	10 ± 0.2	50 ± 0.5	60-	—
JISK-7161-2 (ISO 527-2)	1BA	75-	10 ± 0.5	30 ± 0.5	5 ± 0.5	25 ± 0.5	30-	—
JISK-7161-2 (ISO 527-2)	1BB	30-	4 ± 0.2	12 ± 0.5	2 ± 0.2	10 ± 0.2	12-	—
JISK-7161-2 (ISO 527-2)	5A	75-	12.5 ± 1	25 ± 1	4 ± 0.1	20 ± 0.5	8 ± 0.5	12.5 ± 1
JISZ-1702	Fig 1	120	25 ± 1	40 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	10 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	40 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	14 ± 1	25 ± 1
JISZ-2201	5	Irregular	30-	60	25	50	20~30	—
JISZ-2201	13B	Irregular	20-	Approx. 60	12.5	50	20~30	—

Standard No.	TYPE	A	B	C	D	G	R1	R2
ISO 37	1	115-	25±1	33±2	6 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	25±0.5	14±1	25±2
ISO 37	1A	100-	25±1	20 <sup>+2</sup> <sub>-0</sub>	5±0.1	20±0.5	11±1	25±2
ISO 37	2	75-	12.5±1	25±1	4±0.1	20±0.5	8±0.5	12.5±1
ISO 37	3	50-	8.5±0.5	16±1	4±0.1	10±0.5	7.5±0.5	10±0.5
ISO 37	4	35-	6±0.5	12±0.5	2±0.1	10±0.5	3±0.1	3±0.1
ISO 2285	I-Shaped	38~63	6.5	23~48	2±0.2	-	1	-
ISO 1798	-	152	25	55	13	25 or 50	13	13
ISO 12086-2	-	38-	15-	22±0.25	5±0.25	22±0.25	5±0.5	-
ASTMD-412	A	140-	25±1	59±2	12 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50±0.5	14±1	25±2
ASTMD-412	B	140-	25±1	59±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50±0.5	14±1	25±2
ASTMD-412	C	115-	25±1	33±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	25±0.25	14±1	25±2
ASTMD-412	D	100-	16±1	33±2	3 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	25±0.25	14±1	16±2
ASTMD-412	E	125-	16±1	59±2	3 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50±0.5	14±1	16±2
ASTMD-412	F	125-	16±1	59±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50±0.5	14±1	16±2
ASTMD-1822	L	63.5	9.53	9.53±0.08	3.18±0.03	9.53±0.08	12.7±0.08	-
ASTMD-1822	S	63.5	9.53	0/12.7R	3.18±0.03	-	12.7±0.08	-
ASTMD-638	I	165-	19 <sup>+6.4</sup> <sub>-0</sub>	57±0.5	13±0.5	50±0.25	76±1	-
ASTMD-638	II	183-	19 <sup>+6.4</sup> <sub>-0</sub>	57±0.5	6±0.5	50±0.25	76±1	-
ASTMD-638	III	246-	29 <sup>+6.4</sup> <sub>-0</sub>	57±0.5	19±0.5	50±0.25	76±1	-
ASTMD-638	IV	115-	19 <sup>+6.4</sup> <sub>-0</sub>	33±0.5	6±0.05	25±0.13	14±1	25±1
ASTMD-638	V	63.5-	9.53 <sup>+3.18</sup> <sub>-0</sub>	9.53±0.08	3.18±0.03	7.62±0.02	12.7±0.08	-
ASTMD-1708	Fig 1	38-	15-	22±0.25	5±0.25	22±0.25	5±0.5	-
ASTMD-2116	Fig 1	38-	15-	22±0.25	5±0.25	22±0.25	5±0.5	-
ASTMD-4894	Fig 11	38-	15-	22±0.25	5±0.25	22±0.25	5±0.5	-
DIN-53504	S1	115-	25	33	6±0.05	25	14	25
DIN-53504	S1A	100-	25	20	5±0.05	25	11	25
DIN-53504	S2	75-	12.5	25	4±0.05	20	8	12.5
DIN-53504	S3	35-	6	12	2±0.05	10	3	3
DIN-53504	S3A	50-	8.5	16	4±0.05	10	7.5	10
BS-2782	3	114	25	33	6 <sup>+0.4</sup> <sub>-0</sub>	25	14±0.5	25±1
BS-6746		75	12.5±1	25±1	4±0.1	20±0.1	8±0.5	12.5±1
IEC-540	Fig 7	75	12.5	25	4±0.1	20±0.1	8±0.5	12.5
IEC-540 (S)	Fig 8	50	8.5	17	4±0.1	10±0.1	7.5	10
UL-746A	A	140-	25±1	59±2	12 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50	14±1	25±2
UL-746A	B	140-	25±1	59±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50	14±1	25±2
UL-746A	C	115-	25±1	33±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	25	14±1	25±2
UL-746A	D	100-	16±1	33±2	3 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	25	14±1	16±2
UL-746A	E	125-	16±1	59±2	3 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50	14±1	16±2
UL-746A	F	125-	16±1	59±2	6 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50	14±1	16±2
UL-6284.1A	A	152.4	25.4±1	50.8±2	6.4 <sup>+0.05</sup> <sub>-0</sub>	50.8	22.2±1	25.4±2

**3.1.3 การเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบการเตรียมผิวตัวอย่างชิ้นงานเป็นขั้นตอนสำคัญในการทดสอบแรงดึง** เนื่องจากผิวของวัสดุที่ไม่เรียบอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าแรงดึงและอาจส่งผลต่อผลการทดสอบได้ การเตรียมผิวชิ้นงานต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล เช่น ASTM E8 และ ISO 6892 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การลบครีบบและคมจากกระบวนการตัด เมื่อตัดชิ้นงานทดสอบจากวัสดุแผ่นหรือแท่ง อาจมีครีบบหรือขอบคมเกิดขึ้นจากกระบวนการตัด เช่น การตัดด้วยเลเซอร์ เครื่องตัดน้ำ หรือ เครื่องเลื่อย ต้องใช้เครื่องขัดหรือกระดาษทรายขัดชิ้นงานก่อนเพื่อลบครีบบออก เพื่อป้องกันการเกิดตำหนิที่อาจทำให้เกิดรอยร้าวก่อนเวลาอันควร

2) การขัดผิวให้เรียบ ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องถูกขัดให้เรียบเพื่อขจัดรอยขีดข่วนและตำหนิที่อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก สามารถใช้กระดาษทรายที่มีความละเอียดตามความเหมาะสม (เช่น 400-600 grit) หรือเครื่องขัดที่มีสารหล่อลื่นเพื่อให้ได้ผิวที่เรียบเนียน

3) การทำให้ขนาดของตัวอย่างสม่ำเสมอ ขนาดของชิ้นงานทดสอบต้องถูกกลึงหรือเจียรให้มีความสม่ำเสมอ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นมาตรฐานในการวัด เช่น บริเวณส่วนวัดค่าของตัวอย่าง (Gauge length) อาจต้องใช้เครื่องกลึงหรือเครื่องกัด CNC ในการปรับแต่งขนาดให้ได้มาตรฐาน

4) การทำความสะอาดพื้นผิว ต้องทำความสะอาดชิ้นงานทดสอบเพื่อกำจัดฝุ่นละออง น้ำมัน หรือสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อแรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างกับหัวจับของเครื่องทดสอบ สามารถใช้สารทำความสะอาด เช่น แอลกอฮอล์อุตสาหกรรม หรืออากาศอัดในการเป่าเศษฝุ่นออก

5) การเคลือบสารป้องกันออกซิเดชัน (ถ้าจำเป็น) ในกรณีที่วัสดุที่ทดสอบมีโอกาสเกิดออกซิเดชันง่าย เช่น โลหะบางชนิด อาจต้องเคลือบสารป้องกันการเกิดสนิมหรือออกซิเดชันที่อาจส่งผลต่อโครงสร้างของวัสดุ

6) การตรวจสอบความเรียบร้อยของผิวตัวอย่าง ก่อนนำไปทดสอบ ต้องตรวจสอบผิวของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ หรืออุปกรณ์วัดพื้นผิว เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีรอยแตกร้าวหรือความเสียหายอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อผลการทดสอบ

**3.1.4 การทำเครื่องหมายความยาวเกจ (Gauge length) ของชิ้นงานทดสอบแรงดึง** ชิ้นงานจะถูกทำเครื่องหมายที่บริเวณความยาวเกจ (Gauge length) เพื่อช่วยในการวัดการเปลี่ยนแปลงของความยาว การทำเครื่องหมายความยาวเกจ (Gauge length marking) เป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการทดสอบแรงดึง เนื่องจากเป็นการกำหนดระยะเริ่มต้นที่ใช้วัดการยืดตัวของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งส่งผล

โดยตรงต่อค่าการยืดตัว (Elongation) และการวิเคราะห์ผลของวัสดุ โดยทั่วไปมีวิธีการทำเครื่องหมาย ดังนี้

### 1) กำหนดความยาวเกจ (Gauge length)

- ความยาวเกจ ( $L_0$ ) คือระยะที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของความยาวชิ้นงานในระหว่างการทดสอบ
- ค่าความยาวเกจจะถูกกำหนดตามมาตรฐาน เช่น ASTM E8 กำหนดให้  $L_0 = 4D$  หรือ  $5D$  ( $D$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน)

### 2) วิธีการทำเครื่องหมาย

- ใช้ปากกา เช่น ใช้ปากกามีกสีที่ติดแน่น ปากกา Permanent marker หรือหมึกพ่นเพื่อลงจุดบนชิ้นงานทดสอบ
- ใช้เครื่องมือวัดและสลักเครื่องหมาย เช่น ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier caliper) หรือเกจวัดความยาว (Gauge ruler) ทำการขีดหรือสลักเครื่องหมายเล็กๆ ด้วยเครื่องมือสลักโลหะ (Scriber) เพื่อให้ตำแหน่งแน่นอน
- ใช้เลเซอร์มาร์คกิ้ง (Laser marking) เช่น งานที่ใช้ในอุตสาหกรรมอากาศยาน หรือยานยนต์ อาจใช้เลเซอร์เพื่อทำเครื่องหมายอย่างแม่นยำ

### 3) การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องหมาย

- หลังจากทำเครื่องหมายแล้ว ต้องตรวจสอบว่าระยะห่างระหว่างเครื่องหมายเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
- ควรตรวจสอบด้วยอุปกรณ์วัดละเอียด เช่น เวอร์เนียคาลิปเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์
- หากเครื่องหมายไม่สม่ำเสมอ หรือระยะไม่ถูกต้อง อาจส่งผลต่อความแม่นยำของผลการทดสอบ

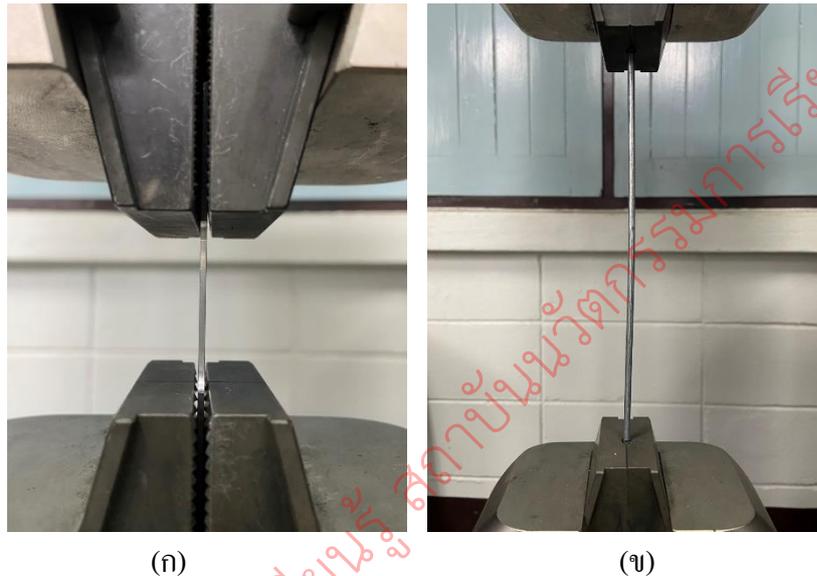
### 4) ข้อควรระวังในการทำเครื่องหมาย

- หลีกเลี่ยงการใช้แรงกดที่มากเกินไปในการทำเครื่องหมาย เพราะอาจทำให้เกิดรอยตำหนิหรือรอยแตกขนาดเล็ก (Microcrack) บนผิวตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก
- หลีกเลี่ยงสารเคมีที่อาจทำปฏิกิริยากับวัสดุ เช่น หมึกบางประเภทที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อน

- ต้องทำเครื่องหมายในตำแหน่งที่ชัดเจน อ่านค่าได้ง่าย และไม่เลอะเลือน  
ระหว่างการทดสอบ

### 3.2 การวางชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง

การวางชิ้นงานทดสอบเป็นขั้นตอนสำคัญที่มีผลต่อความแม่นยำของการทดสอบแรงดึง การวางตัวอย่างชิ้นงานทดสอบต้องทำให้แน่ใจว่าตัวอย่างอยู่ในแนวแกนที่ถูกต้องและยึดแน่นเพียงพอเพื่อป้องกันการลื่นไถลหรือการเกิดแรงดึงที่ไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การวางชิ้นงานทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง (ก) ชิ้นงานทดสอบแบบแท่งแบน และ (ข) ชิ้นงานทดสอบแท่งกลม

#### 3.2.1 การเลือกหัวจับ (Grip selection)

- 1) หัวจับที่ใช้ต้องเหมาะสมกับประเภทของวัสดุและรูปทรงของชิ้นงาน
- 2) หัวจับต้องสามารถกระจายแรงได้สม่ำเสมอเพื่อลดความเครียดบริเวณขอบจับ

#### 3.2.2 การจัดวางตัวอย่างในแนวแกนตรง

ต้องวางชิ้นงานให้อยู่ในแนวแกนกลางของเครื่องทดสอบ เพื่อให้แรงดึงที่กระทำสม่ำเสมอ

#### 3.2.3 การยึดตัวอย่างเข้ากับหัวจับ

- 1) ค่อยๆ ชันหัวจับให้แน่นเพื่อป้องกันการลื่นไถลของตัวอย่างระหว่างทดสอบ
- 2) หลีกเลี่ยงการใช้แรงบีบที่มากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยบุบหรือความเครียดที่ไม่พึงประสงค์

### 3.2.4 การยึดชิ้นงานเข้ากับหัวจับ

- 1) ตรวจสอบว่าชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและไม่มีการเอียง
- 2) ตรวจสอบว่าหัวจับสามารถจับชิ้นงานได้แน่นหนาแต่ไม่ทำให้ตัวอย่างเสียรูป
- 3) ทดสอบแรงเริ่มต้น (Pre-load) เพื่อให้แน่ใจว่าการจับยึดแน่นหนาเพียงพอและไม่มี การเคลื่อนที่ของตัวอย่าง

## 3.3 ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน

### 3.3.1 ตั้งค่าการทดสอบ

- 1) กำหนดอัตราการให้ความเครียด (Strain rate) ตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ASTM หรือ ISO
- 2) ตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องมือวัด เช่น เครื่องวัดระยะยืดตัว (Extensometer)

### 3.3.2 เริ่มกระบวนการทดสอบ

- 1) เปิดเครื่องและเริ่มออกแรงดึงให้กับชิ้นงานด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ
- 2) เครื่องจะทำการบันทึกข้อมูลแรงดึงและการเปลี่ยนแปลงของความยาวตัวอย่างตลอด การทดสอบ

### 3.3.3 สังเกตและบันทึกข้อมูล

- 1) ระหว่างการทดสอบ สังเกตพฤติกรรมของวัสดุ เช่น จุดคราก (Yield point) และการเสียรูปพลาสติก (Plastic deformation)
- 2) ระบบอัตโนมัติของเครื่องจะบันทึกค่าความเค้น-ความเครียด และพฤติกรรมของวัสดุ จนกว่าตัวอย่างจะขาด

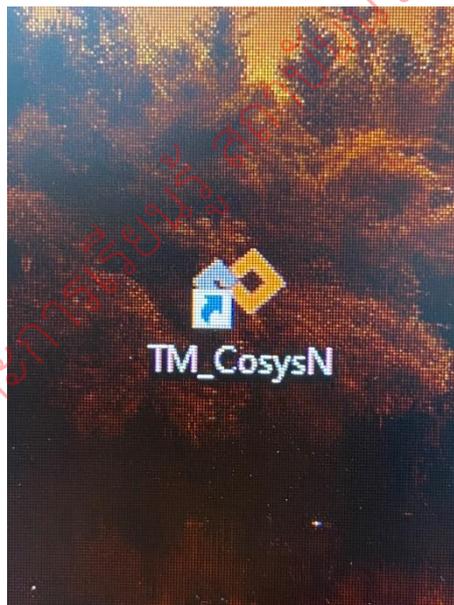
**3.3.4 สิ้นสุดการทดสอบ** เมื่อวัสดุถึงจุดแตกหักหรือสิ้นสุดเงื่อนไขที่กำหนด ระบบจะหยุดการทดสอบโดยมีขั้นตอนดังนี้:

- 1) **หยุดแรงดึงและปลดตัวอย่างออกจากหัวจับ** เครื่องจะหยุดเพิ่มแรงดึงและปล่อยแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน จากนั้นให้นำชิ้นงานที่ขาดออกจากหัวจับอย่างระมัดระวัง
- 2) **บันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล** ระบบจะบันทึกค่าที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์กราฟความเค้น-ความเครียด เช่น ความเค้นคราก (Yield strength) ความเค้นดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength หรือ UTS) และค่าการยืดตัวของวัสดุ

3) ตรวจสอบลักษณะการแตกหักของตัวอย่าง ลักษณะของการแตกหักของชิ้นงาน เช่น การแตกหักแบบเปราะ (Brittle fracture) หรือการแตกหักแบบเหนียว (Ductile fracture) และถ่ายภาพรอยแตกเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึก

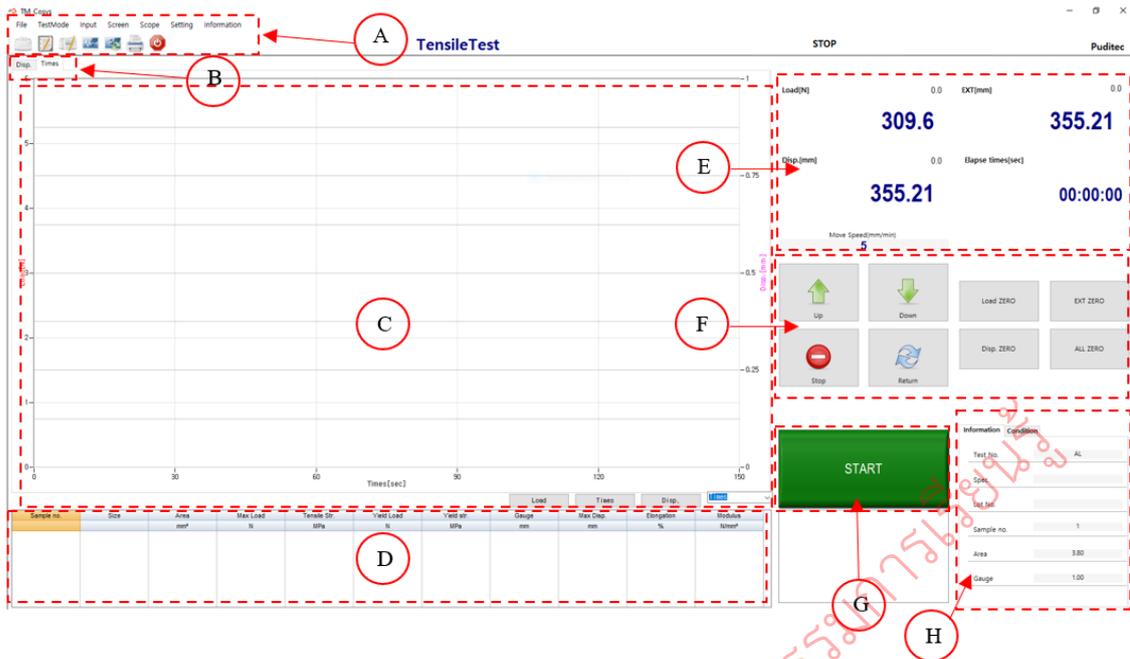
### 3.4 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมควบคุมการทดสอบ

หลังจากที่ได้นำชิ้นงานใส่เข้าที่หัวจับ (Grips) ของเครื่องทดสอบแรงดึงเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการใช้งานโปรแกรมควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์การทดสอบและควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบอย่างแม่นยำ โดยโปรแกรมจะช่วยให้สามารถกำหนดประเภทของการทดสอบ ความเร็วในการดึง และขีดจำกัดของแรงและการเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ โปรแกรมยังสามารถแสดงผลข้อมูลการทดสอบแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์ผลในขั้นตอนถัดไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำความเข้าใจและปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมอย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3.2 แสดงชื่อและไอคอนของ โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบ

สำหรับเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ K&M รุ่น KUM-4A ที่มีขนาดแรงทดสอบสูงสุด 50 kN จากบริษัท KM&T นี้ใช้โปรแกรม TM\_CosysN รุ่น Material Test Machine Ver 1.1.0 ในการควบคุมการทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบ

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้ว หน้าจอแสดงผลจะปรากฏขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยแต่ละส่วนของหน้าจอประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

A - แถบ (Toolbar menu) ที่ประกอบด้วยปุ่มคำสั่งหรือไอคอนที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงคำสั่งต่างๆ ในโปรแกรมได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

B - ปุ่มเปลี่ยนแกน X สำหรับกราฟที่มีให้เลือกระหว่าง ระยะยืดตัว (Displacement) และ เวลา (Time)

C - พื้นที่แสดงผลกราฟเส้นจากการทดสอบ

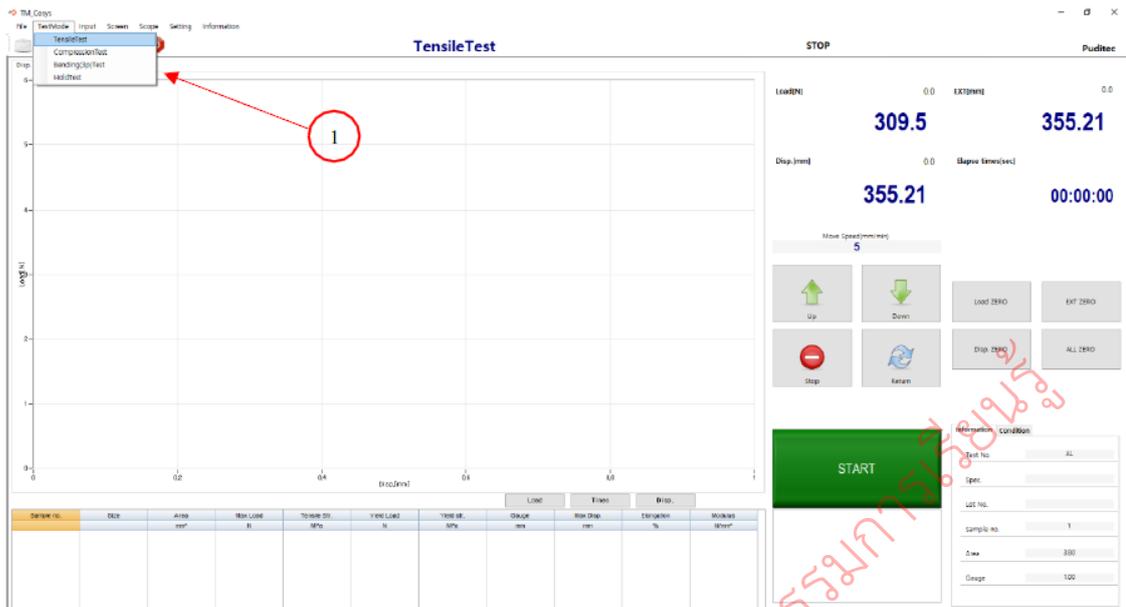
D - พื้นที่แสดงผลการทดสอบ ประกอบด้วย Sample No., Size, Area, Max load, Tensile strength, Yield load, Yield strength, Gauge, Max displacement, Elongation และ Modulus

E - ค่าการทดสอบต่างๆ ที่แสดงระหว่างขณะการทดสอบ ประกอบด้วย Load (N), Displacement (mm), Extension (mm) และ Elapse times (sec)

F - ปุ่มควบคุมการขึ้นลงของ Cross head และการเซตค่าเริ่มต้น (Set Zero)

G - ปุ่ม เริ่มต้น-หยุด การทดสอบ

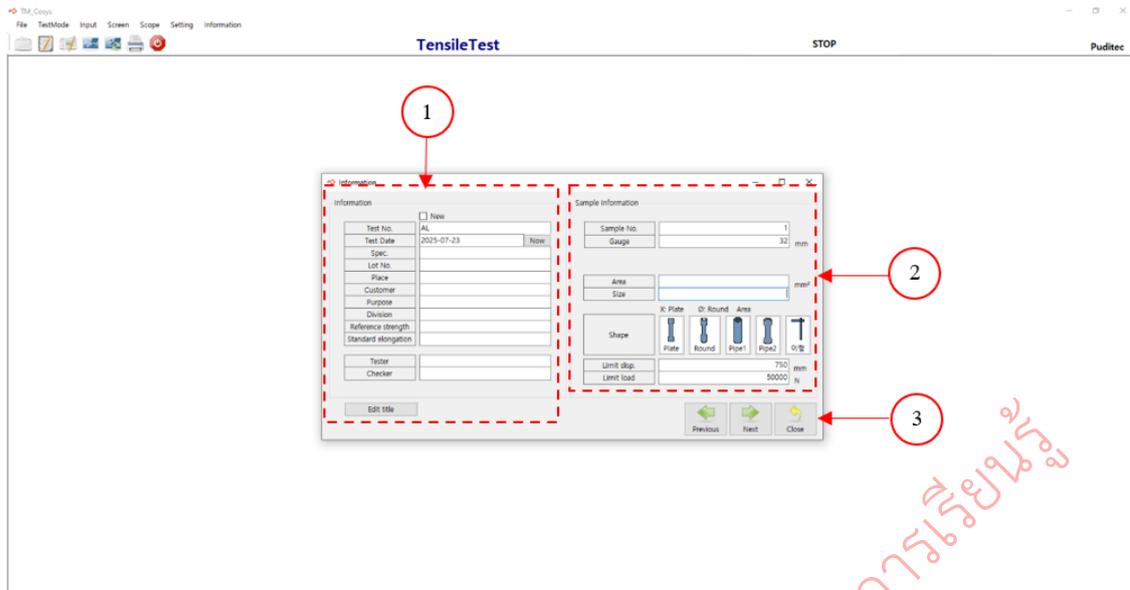
H - แสดงรายละเอียดการทดสอบ ประกอบด้วย Test No., Spec, Lot No., Sample No., Area และ Gauge



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่าง โปรแกรมและการเลือกโหมดทดสอบ

3.4.1 เลือก “Test Mode” จากแถบเมนูเครื่องมือ (Toolbar Menu) ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะมีตัวเลือกการทดสอบให้เลือกทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่

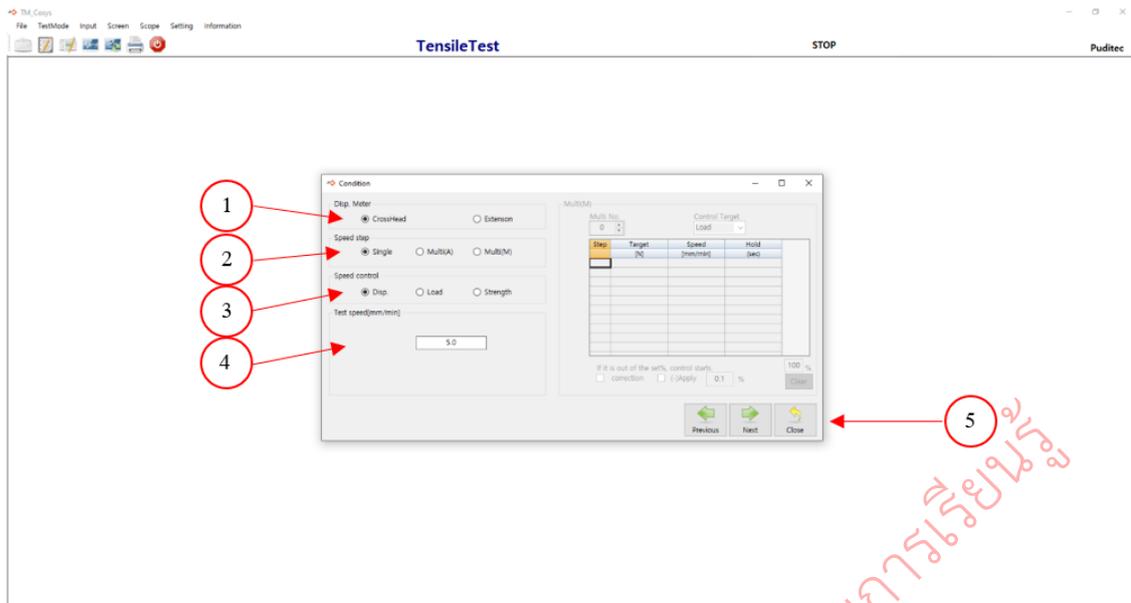
- 1) Tensile Test เป็นการทดสอบแรงดึง (เลือกการทดสอบนี้)
- 2) Compression Test เป็นการทดสอบแรงกดอัด
- 3) Bending (3points) Test เป็นการทดสอบการดัดโค้งแบบ 3 จุด
- 4) Hold Test เป็นการทดสอบแรงกดแบบคงค้าง



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าต่างโปรแกรมและรายละเอียดชิ้นงาน

### 3.4.2 แสดงหน้ารายละเอียดชิ้นงานดังรูปที่ 3.5 โดยประกอบไปด้วย

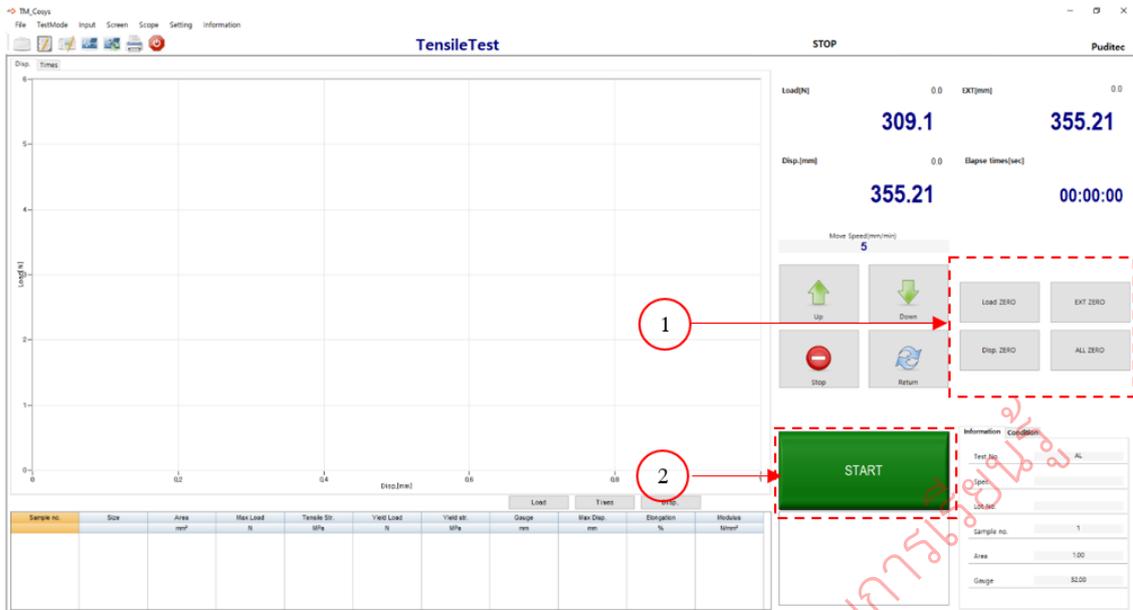
- 1) กรอกข้อมูลรายละเอียดของชิ้นงานตามที่ต้องการ โดยสามารถเลือกกรอกข้อมูลในบางช่องได้โดยไม่จำเป็นต้องกรอกครบทุกช่อง
- 2) ระบุขนาดของชิ้นงานตามที่กำหนด พร้อมกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของการทดสอบ โดยใช้ค่าขีดจำกัดสูงสุดของเครื่องมือ ได้แก่ Limit Displacement ที่ 750 มิลลิเมตร และ Limit Load ที่ 50,000 นิวตัน ตามลำดับ
- 3) ปุ่มกด ย้อนกลับหรือ ไปหน้าถัดไป



รูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่างโปรแกรมและการตั้งค่าการทดสอบ

### 3.4.3 แสดงหน้าโปรแกรมให้เลือกรการตั้งค่าการทดสอบดังรูปที่ 3.6 โดยประกอบไปด้วย

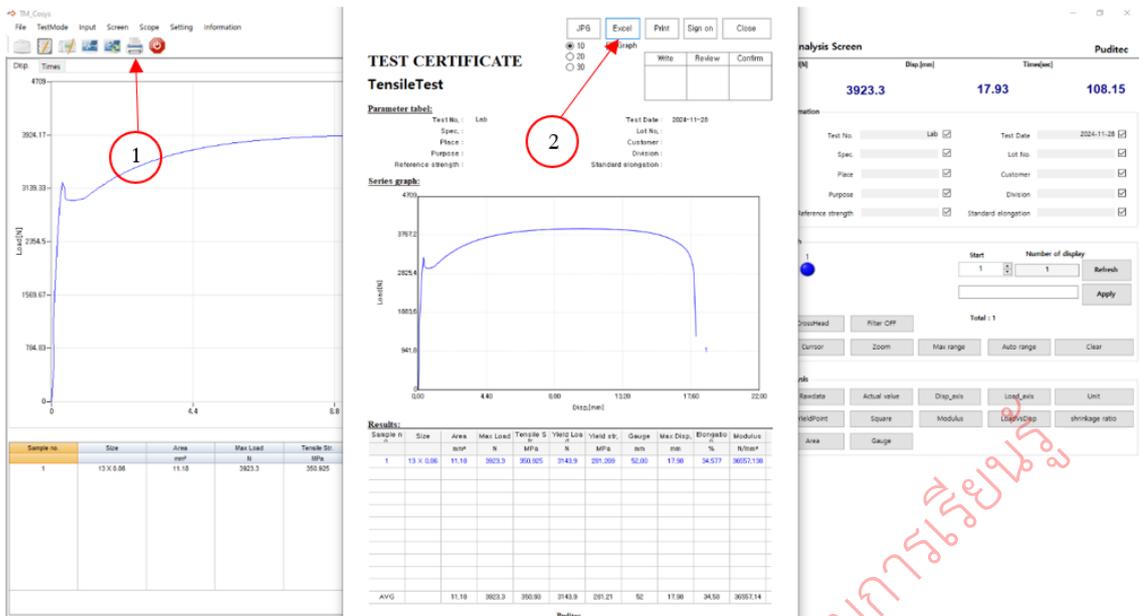
- 1) Disp. Meter เลือกอุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนที่ “CrossHead”
- 2) Speed step เลือกการเคลื่อนที่แบบ “Step” เป็นความเร็วคงที่ในการดึงจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน
- 3) Speed control เลือก “Disp.” เป็นความเร็วที่ใช้อ้างอิงจากการยืดตัวมีที่หน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)
- 4) Test speed (mm/min) กำหนดความเร็วในการทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบข้อ 3.3 ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)
- 5) เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้ว กด Next เพื่อไปยังหน้าถัดไป หรือ Previous เพื่อย้อนกลับไปแก้ไขข้อมูลก่อนหน้า



รูปที่ 3.7 แสดงหน้าต่างโปรแกรมก่อนเริ่มการทดสอบ

3.4.4 แสดงหน้าต่างโปรแกรมเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบดังรูปที่ 3.7 โดยประกอบไปด้วย

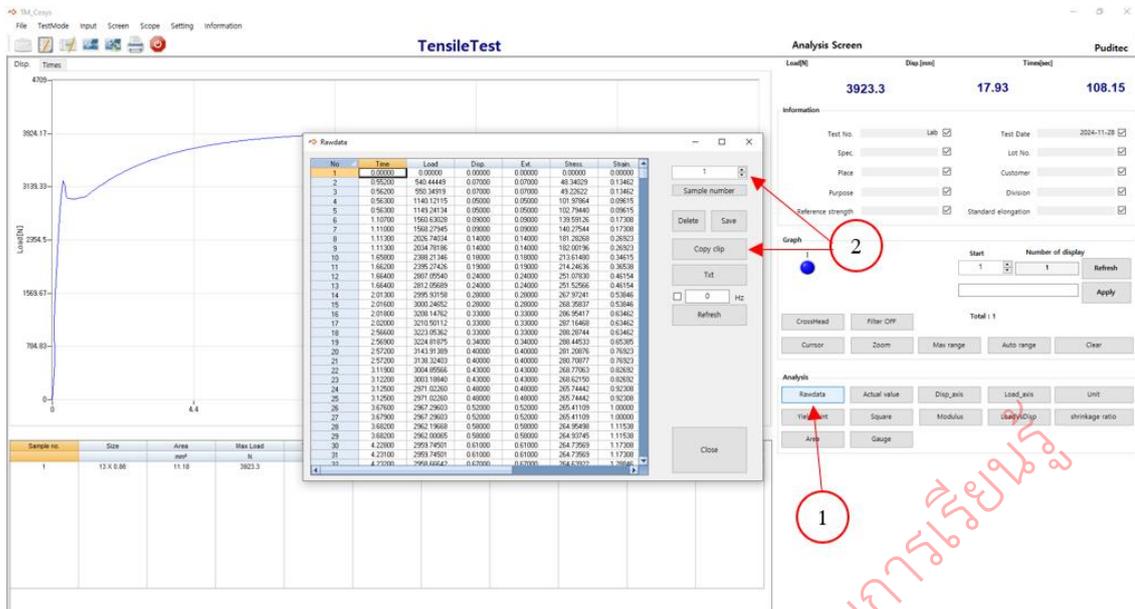
- 1) กดปุ่มค่าเริ่มต้น (Set zero) เพื่อเริ่มต้นการตั้งค่าศูนย์สำหรับการทดสอบแต่ละรายการ หรือ กด All ZERO เพื่อรีเซ็ตค่าทั้งหมด เมื่อดำเนินการแล้ว ตัวเลขที่แสดงบนหน้าจอ จะถูกตั้งค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด แสดงถึงสถานะพร้อมสำหรับการทดสอบ
- 2) กดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าต่าง โปรแกรมบันทึกข้อมูลการทดสอบ

3.4.5 เมื่อการทดสอบชิ้นงานเสร็จสิ้น ระบบจะแสดงกราฟผลการทดสอบตามตัวอย่างในรูปที่ 3.8 จากนั้นผู้ใช้งานสามารถดำเนินการบันทึกข้อมูลผลการทดสอบได้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) กดที่รูปเครื่องปริ้น เพื่อใช้แสดงรายงานผลการทดสอบ
- 2) เมื่อแสดงรายงานผลการทดสอบแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเลือกประเภทของไฟล์ที่ต้องการบันทึกได้ โดยสามารถเลือกได้ระหว่างไฟล์รูปแบบ PDF หรือ Excel



รูปที่ 3.9 แสดงหน้าต่าง โปรแกรมบันทึกข้อมูลดิบในรูปแบบตาราง

3.4.6 หากต้องการบันทึกข้อมูลดิบเพื่อนำไปใช้ในการพล็อตกราฟหรือวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) เลือก “Raw data” เพื่อแสดงข้อมูลดิบของแต่ละกราฟดังรูปที่ 3.9
- 2) เลือกกราฟลำดับที่ต้องการบันทึก แล้วกด “Copy Clip” เพื่อคัดลอกข้อมูล จากนั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวางลงใน โปรแกรม Excel เพื่อใช้งานต่อไป

## บทที่ 4

### การทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบแรงดึง (Tensile test) เป็นหนึ่งในวิธีการพื้นฐานและสำคัญในการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุ สามารถวัดหาการต้านทานแรงที่กระทำในแนวแกน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกใช้งานในสภาวะต่าง ๆ เช่น แรงดึง ความเครียด และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การทดสอบนี้สามารถใช้ประเมินค่าความเค้นคราก (Yield strength) ความเค้นดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength หรือ UTS) และค่าการยืดตัวก่อนขาด (Elongation at break) ซึ่งล้วนเป็นตัวชี้วัดความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.1 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

##### 4.1.1 เตรียมตัวอย่างชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ

- 1) โลหะชนิดเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061 ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D-638

(รูปที่ 4.1ก)

- ความกว้างเกจ (Gauge width)	6.40	มิลลิเมตร
- ความยาวเกจ (Gauge length)	33.00	มิลลิเมตร
- ความหนา (Thickness)	2.00	มิลลิเมตร

- 2) เส้นลวดเหล็ก ขนาดตามมาตรฐาน มอก. 20-2559, มอก. 1720-2547 (รูปที่ 4.1ข)

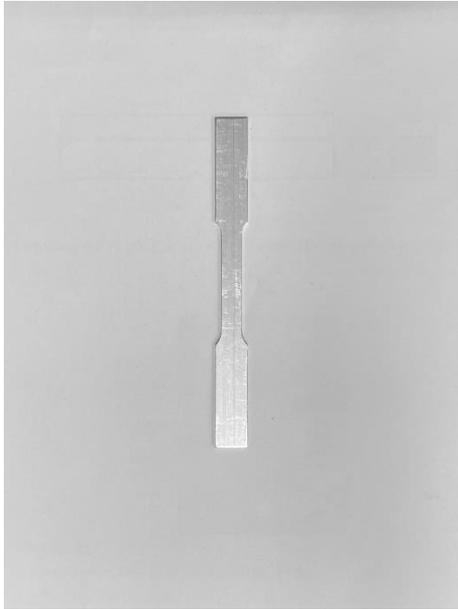
- เส้นผ่านศูนย์กลาง (Dimeters)	2.20	มิลลิเมตร
	2.70	มิลลิเมตร
	3.50	มิลลิเมตร
- ความยาวเกจ (Gauge length)	200.00	มิลลิเมตร

- 4.1.2 นำตัวอย่างที่เตรียมตามมาตรฐานเสร็จแล้ว เข้าเครื่องทดสอบโดยให้หัวจับ (Grips) ยึดได้อย่างน้อยสองในสามส่วนของความยาวทั้งสองด้านของชิ้นงาน (แสดงตามรูปที่ 4.2)

- 4.1.3 เพิ่มแรงดึงให้แก่ชิ้นงาน ด้วยอัตราเร็วคงที่ 5.0 mm/min เพื่อดึงให้ยืดออกจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันในที่สุด

4.1.4 หาแรงต้านการดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) จุดคราก (Yield point) ระยะยืดตัว (Elongation) และมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) จากผลการทดสอบที่ได้ของแต่ละชิ้นงาน

4.1.5 สรุปและอภิปรายผลการทดสอบ



(ก)



(ข)

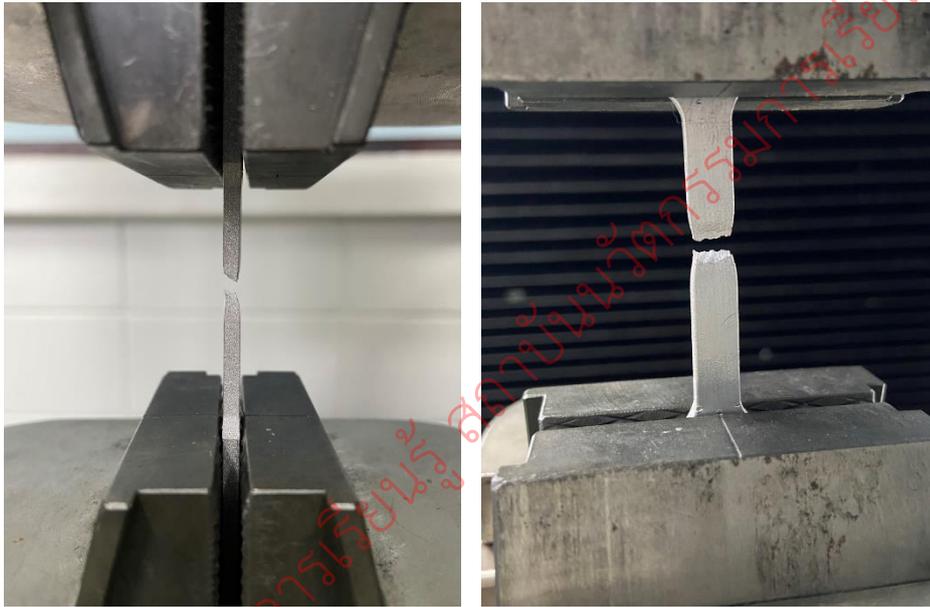
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของ (ก) อะลูมิเนียม และ (ข) เส้นลวดเหล็ก



รูปที่ 4.2 แสดงการจับชิ้นงานด้วยหัวจับ (Grip)

## 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

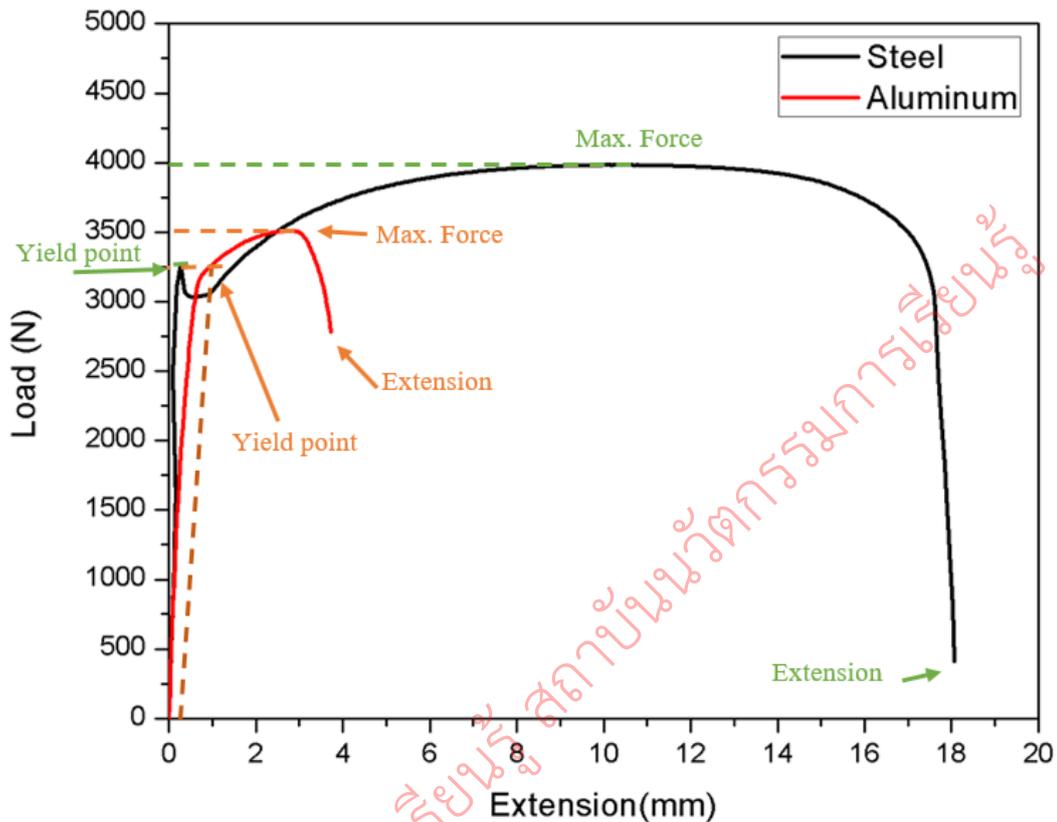
เมื่อตั้งชิ้นงานเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061 ด้วยอัตราเร็ว 5.0 mm/min ตามลำดับ ผลลัพธ์จากการทดสอบด้านแรงดึงก็คือความเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ (Load) กับระยะความยาวที่ยืดออก (Elongation) จนชิ้นงานขาด แยกออกจากกัน (รูปที่ 4.3) การขาดตรงกลางเกจ (Gauge) หรือส่วนที่รับแรง แสดงถึงความเค้นที่สูงเกินกว่าที่ส่วนนั้นจะรับได้ ไม่ได้บ่งชี้ว่าการทดสอบนั้นนำไปใช้ได้เสมอไป ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ลักษณะการแตกหัก สภาพของพื้นผิวที่แตกหัก เป็นต้น



รูปที่ 4.3 แสดงการขาดของชิ้นงานอะลูมิเนียม

จากผลการทดสอบแรงดึง โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าแรง (Force) กับระยะยืดตัว (Extension) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า เหล็กมีสมบัติเชิงกลที่เหนือกว่าอะลูมิเนียมทั้งในด้านความสามารถในการรับแรงดึงและการยืดตัวก่อนขาด โดยเหล็กสามารถรับแรงดึงได้สูงสุดที่ 3,985.2 นิวตัน ในขณะที่อะลูมิเนียมรับแรงดึงได้สูงสุดที่ 3,510.2 นิวตัน แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของเหล็กที่มากกว่าเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงในแนวแกนเดียว สำหรับด้านการยืดตัว เหล็กสามารถยืดได้ทั้งหมด 18.17 มิลลิเมตรก่อนขาด ส่วนอะลูมิเนียมยืดได้เพียง 3.77 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเหนียว (Ductility) ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน วัสดุที่มีความเหนียวสูง เช่น เหล็ก จะสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าก่อนที่จะเกิดการแตกหัก ส่งผลให้สามารถนำไปใช้งานในโครงสร้างที่ต้องรับแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือนได้ดีกว่า [7, 8] จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า เหล็กมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่ต้องการทั้งความแข็งแรงและความเหนียว ในขณะที่อะลูมิเนียมแม้จะมีน้ำหนักเบาและทนต่อ

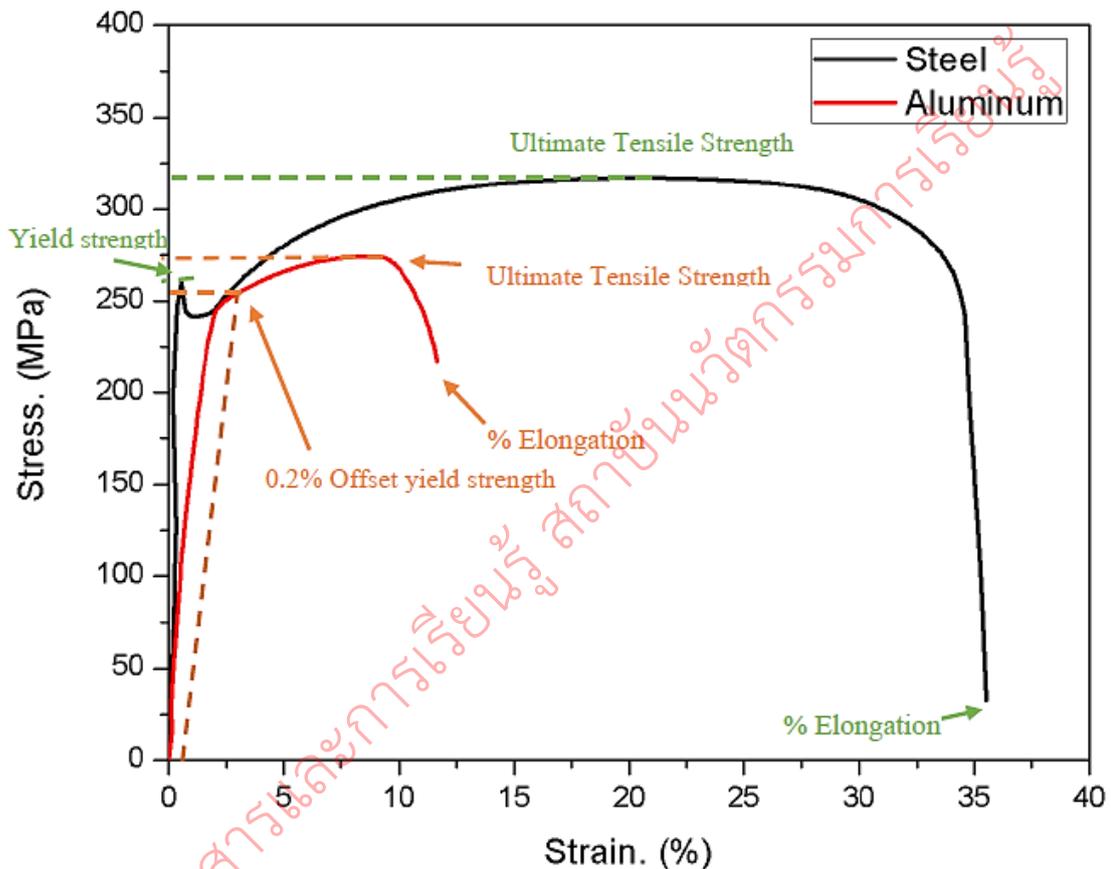
การกัดกร่อน ได้ดี แต่มีความสามารถในการรับแรงและยึดตัวต่ำกว่าจึงเหมาะสำหรับงานที่ไม่เน้น โหลดสูงหรือการเสีรูปร่าง [9, 10]



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง แรง (Force) กับระยะยืด (Extension) ของเหล็ก คาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061

สิ่งที่น่าสนใจจากการทดสอบแรงดึงของโลหะทั้งสองชนิด ได้แก่ เหล็กคาร์บอนต่ำและ อะลูมิเนียม 6061 คือ ทั้งสองวัสดุมีค่าจุดคราก (Yield point) ที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน ที่บ่งบอกถึงค่า ความแข็งแรงของวัสดุที่จะเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นอย่างถาวร (Stress-strain curve) โดยเหล็กคาร์บอนต่ำนั้น มักจะเห็นจุดครากได้อย่างชัดเจน พบว่าค่าแรงดึงที่จุดครากอยู่ที่ 3,267.55 นิวตัน ลักษณะของกราฟจะ แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดหลังจากผ่านจุดคราก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโลหะประเภทนี้ที่มี พฤติกรรมเปลี่ยนรูปอย่างเฉียบพลัน ในขณะที่อะลูมิเนียม 6061 มีพฤติกรรมที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ กราฟความเค้น-ความเครียดไม่มีจุดครากที่ชัดเจน ทำให้การระบุค่าจุดครากด้วยวิธีทั่วไปเป็น เรื่องยาก เนื่องจากกราฟไม่มีจุดสิ้นสุดของช่วงเส้นตรงที่แน่นอน ดังนั้น จึงนิยมใช้วิธีการประมาณค่า ด้วยการลากเส้นตรงขนานกับบริเวณที่มีการผิดรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic region) โดยเริ่มจากจุดที่ค่า ความเครียด (Strain) เท่ากับ 0.2% บนแกนนอน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตามมาตรฐานการ

ออกแบบโครงสร้างของสหรัฐอเมริกา (เช่น ASTM) ค่าความเค้นที่จุดตัดระหว่างเส้นตรงดังกล่าวกับเส้นกราฟจะถือเป็นค่าความเค้นที่วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปถาวร เรียกว่า ความเค้นที่ 0.2% (0.2% Offset yield strength) หรือ ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) โดยในการทดสอบครั้งนี้ อะลูมิเนียม 6061 มีค่าความเค้นพิสูจน์เท่ากับ 3,211.10 นิวตัน ซึ่งแม้จะต่ำกว่าเหล็กคาร์บอนต่ำเล็กน้อย แต่ก็แสดงให้เห็นถึงสมบัติการรับแรงในระดับที่ใกล้เคียงกันในช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนรูปถาวร



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061

ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับระยะยืดตัว (Extension) ของชิ้นทดสอบนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงของชิ้นงานเป็นสำคัญ โดยทั่วไปแรงต้านการดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นงานมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าที่วัดได้ไม่สามารถใช้เปรียบเทียบกันได้โดยตรงระหว่างชิ้นงานที่มีขนาดแตกต่างกัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและลดผลกระทบจากปัจจัยทางด้านขนาดของชิ้นงาน ค่าแรงและระยะยืดตัวจึงถูกแปลงเป็นค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ทางวิศวกรรมตามสูตรมาตรฐาน โดยค่าความเค้นเป็นแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดขวางของชิ้นงาน ขณะที่ค่าความเครียด

เป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงระยะยืดตัวต่อความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน จากกราฟความเค้น-ความเครียด ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 สามารถสรุปค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, UTS) ของเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061 ได้เท่ากับ 317.04 เมกะปาสกาล และ 274.23 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ขณะที่ค่าความเค้นจุดคราก (Yield Strength) ของเหล็กคาร์บอนต่ำอยู่ที่ 255.28 เมกะปาสกาล ส่วนอะลูมิเนียมที่ใช้วิธี Offset 0.2% มีค่าเท่ากับ 250.87 เมกะปาสกาล นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ของเหล็กคาร์บอนต่ำสูงกว่าอะลูมิเนียมอย่างชัดเจน โดยอยู่ที่ 35.70% เมื่อเทียบกับ 11.78% ของอะลูมิเนียม ซึ่งบ่งชี้ว่าเหล็กคาร์บอนต่ำมีความเหนียวและความสามารถในการยืดตัวก่อนเกิดการแตกหักสูงกว่า ในส่วนของความแข็งแรงเชิงยืดหยุ่น (Elastic modulus หรือ Young's modulus) เหล็กคาร์บอนต่ำก็แสดงค่าที่สูงกว่าอะลูมิเนียมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 112.00 จิกะปาสกาล ในขณะที่อะลูมิเนียมอยู่ที่ 61.00 จิกะปาสกาล ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงและความต้านทานการเสียดรูปในช่วงยืดหยุ่นที่แตกต่างกันระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด ดังตารางที่ 4.1

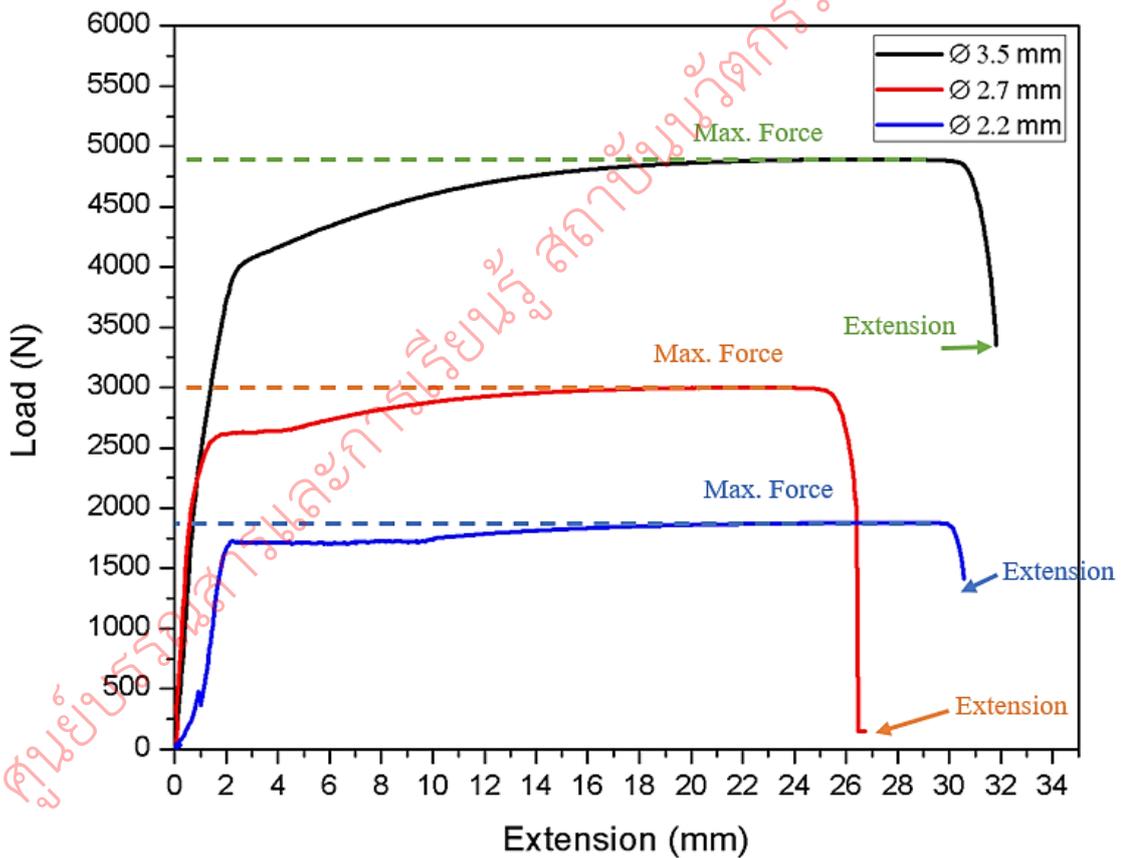
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบแรงดึงของโลหะชนิดเหล็กคาร์บอนต่ำและอะลูมิเนียม 6061

ตัวอย่าง	แรงดึง		ความเค้น		ระยะยืดสูงสุด (mm)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%)	ค่ามอดูลัส (GPa)
	จุดคราก (N)	จุดสูงสุด (N)	จุดคราก (MPa)	จุดสูงสุด (MPa)			
เหล็กคาร์บอนต่ำ	3,267.55	3,985.20	255.28	317.04	18.17	35.70	112.00
อะลูมิเนียม 6061	3,211.10	3,510.20	250.87	274.23	3.77	11.78	61.00

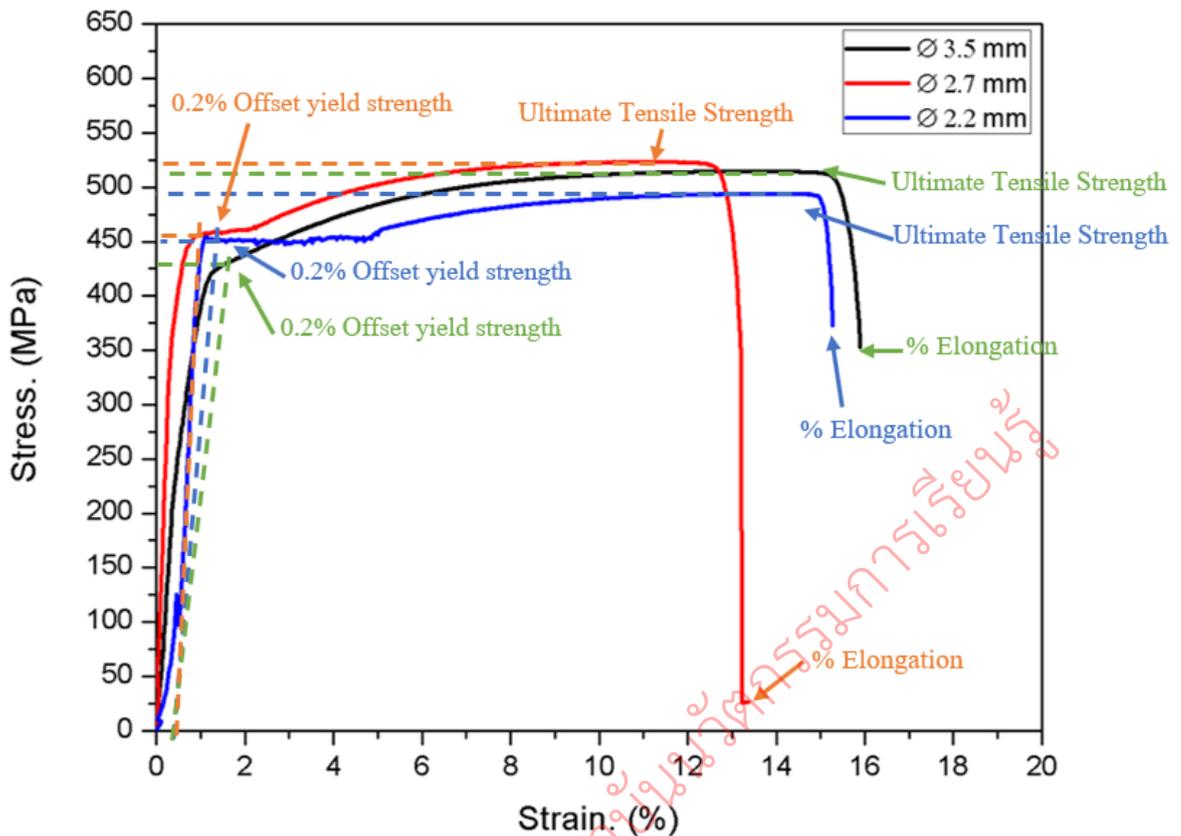


รูปที่ 4.6 แสดงการขาดของชิ้นงานเส้นลวดเหล็ก

รูปที่ 4.6 แสดงการดึงชิ้นงานเส้นลวดเหล็กด้วยความเร็ว 5.0 mm/min จนชิ้นงานขาด แยกออกจากกันบริเวณตรงกลางเกจ (Gauge) ผลลัพธ์จากการทดสอบแรงดึง (Force) เปรียบเทียบกับระยะยืดตัว (Extension) แสดงตามรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า เส้นลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.50 มิลลิเมตร สามารถทนต่อแรงดึงได้สูงสุดตามขนาดของชิ้นงาน โดยมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 4,894.60 นิวตัน ในขณะที่เส้นลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.70 มิลลิเมตร และ 2.20 มิลลิเมตร มีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 2,999.80 นิวตัน และ 1,878.00 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับค่าจุดคราก (Yield point) ของเส้นลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.50 มิลลิเมตร, 2.70 มิลลิเมตร และ 2.20 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 4,022.35 นิวตัน, 2,615.86 นิวตัน และ 1,713.61 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของชิ้นงานกับความสามารถในการรับแรงดึงและการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ และสังเกตเห็นว่า การวางชิ้นงานส่งผลต่อแรงและระยะยืด (เส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรง (Force) กับระยะยืด (Extension) ของเส้นลวดเหล็ก



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของเส้นลวดเหล็ก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) แสดงตามรูปที่ 4.8 จากการทดสอบแรงดึงของเส้นลวดเหล็กขนาดต่างๆ พบว่าเส้นลวดแต่ละขนาดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน สามารถนำมาเปรียบเทียบในเชิงวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม โดยเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.70 มิลลิเมตร มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) และค่าความเค้นที่ 0.2% (Offset yield strength) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 523.52 เมกะปาสคาล และ 456.52 เมกะปาสคาล ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เส้นลวดขนาดนี้มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation) ต่ำที่สุด คือ 13.37% ซึ่งแสดงถึงลักษณะการขาดตัวที่รวดเร็วกว่าเส้นลวดขนาดอื่นๆ

สำหรับเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.50 มิลลิเมตร และ 2.20 มิลลิเมตร มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 514.68 เมกะปาสคาล และ 494.20 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ขณะที่ค่าความเค้นที่ 0.2% เท่ากับ 422.96 เมกะปาสคาล และ 450.95 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยเส้นลวดขนาด 3.50 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 15.92% ในขณะที่เส้นลวดขนาด 2.20 มิลลิเมตร มีค่าการยืดตัวเท่ากับ 15.30%

ในส่วนของคุณสมบัติของยัง (Young's modulus) พบว่าเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.70 mm มีค่าเท่ากับ 73.00 จิกะปาสคาล ขณะที่เส้นลวดขนาด 3.50 mm และ 2.20 mm มีค่าลดลงมาเท่ากับ 42.00 จิกะปาสคาล และ 32.00 จิกะปาสคาล ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบแรงดึงของเส้นลวดเหล็ก

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	แรงดึง		ความเค้น		ระยะยืด (mm)	เปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (%)	ค่ามอดูลัส (GPa)
	จุดคราก (N)	จุดสูงสุด (N)	จุดคราก (MPa)	จุดสูงสุด (MPa)			
3.50	4,022.35	4,894.60	422.96	514.68	31.84	15.92	42.00
2.70	2,615.86	2,999.80	456.52	523.52	26.74	13.37	73.00
2.20	1,713.61	1,878.00	450.95	494.20	30.60	15.30	32.00

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การทดสอบแรงดึง (Tensile test) เป็นหนึ่งในวิธีการทดสอบทางกลศาสตร์ที่ได้รับความนิยมและแพร่หลายมากที่สุดในงานด้านวิศวกรรมและวัสดุศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้ประเมินสมบัติเชิงกลของวัสดุได้อย่างครอบคลุม โดยเฉพาะสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อแรงดึง เช่น ความเค้นคราก (Yield strength) ความเค้นดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความยืดตัว (Elongation) และ โมดูลัสของยัง (Young's modulus) เป็นต้น

จุดเด่นของการทดสอบแรงดึงคือความสามารถในการให้ข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุในงานวิศวกรรม เช่น การเลือกวัสดุที่สามารถรับแรงได้มากโดยไม่เปลี่ยนรูปถาวร หรือ การเลือกวัสดุที่สามารถยืดตัวได้มากเพื่อดูดซับพลังงานก่อนการแตกหัก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโครงสร้าง วิเคราะห์ความเสียหาย (Failure analysis) หรือควบคุมคุณภาพของวัสดุในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย จะเห็นได้ว่าการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

#### 5.1 การเตรียมตัวอย่าง (Specimen Preparation)

การเตรียมตัวอย่างที่ถูกต้องตามมาตรฐาน เช่น ASTM E8/E8M หรือ ISO 6892 ถือเป็นขั้นตอนแรกที่ต้องให้ความสำคัญ ตัวอย่างทดสอบต้องมีรูปทรง ขนาด และผิวสัมผัสที่เหมาะสม เพื่อให้การกระจายแรงเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยทั่วไป ตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือแท่งสี่เหลี่ยม โดยมีความยาวเกจ (Gauge length) เป็นบริเวณที่เกิดการยืดตัว การควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการตัด เจียร หรือกลึงตัวอย่างมีผลโดยตรงต่อความแม่นยำของผลทดสอบ กล่าวคือ ความหยาบหรือการทำให้เกิดร่องรอยหรือความเสียหายใด ๆ กับชิ้นทดสอบระหว่างขั้นตอนการเตรียม เนื่องจากอาจส่งผลต่อทิศทางการฉีกขาดหรือทำให้เกิดความร้อนสะสมในเนื้อวัสดุ ซึ่งจะส่งผลให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่สะท้อนสมบัติที่แท้จริงของวัสดุ นอกจากนี้ การวัดขนาดภาคตัดขวาง เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้าง-หนา ต้องดำเนินการด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำ เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์ เป็นต้น

## 5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ (Result Analysis)

เมื่อดำเนินการทดสอบแรงดึง ระบบจะบันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับการยืดตัวของชิ้นงาน ซึ่งสามารถนำมาแปลงเป็นกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) เพื่อตีความสมบัติต่างๆ ของวัสดุ เช่น

- ค่าความเค้นคราก (Yield strength): จุดที่วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวร
- ค่าความเค้นดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength): แรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้ก่อนชิ้นงานขาด
- ค่าความเครียดขณะขาด (Elongation): การยืดตัวของวัสดุจนถึงจุดที่ชิ้นงานขาด
- ค่าความยืดหยุ่น (Young's modulus): ความชันของช่วงเส้นตรงในกราฟ

ผลการทดสอบสามารถนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของวัสดุหรือใช้ประกอบการออกแบบชิ้นส่วนทางวิศวกรรม อีกทั้งยังช่วยตรวจสอบความเสื่อมสภาพของวัสดุจากระบวนการผลิตหรือการใช้งานจริง เทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมและการวิเคราะห์ผลอย่างเป็นระบบ จะช่วยให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ ชัดเจน และสามารถนำไปใช้ในการประเมินหรือควบคุมคุณภาพวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.3 ความสำคัญของการขาดกลางเกจในการทดสอบแรงดึง

การขาดของชิ้นทดสอบภายในช่วงเกจ (Gauge length) ถือเป็นสิ่งสำคัญในการทดสอบแรงดึง เนื่องจากช่วงเกจ คือ บริเวณที่ถูกออกแบบให้เกิดการวัดการยืดตัวของวัสดุโดยตรง และเป็นพื้นที่ที่มีการควบคุมขนาด รูปร่าง และผิวหน้าของชิ้นงานให้สม่ำเสมอมากที่สุด การที่ชิ้นงานขาดภายในช่วงเกจ จึงช่วยให้สามารถวัดค่าทางกลของวัสดุได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ หากชิ้นงานเกิดการขาดนอกช่วงเกจ เช่น ใกล้หัวจับหรือบริเวณที่เกิดความเค้นเฉพาะจุด (Stress concentration) ผลการวัดค่าการยืดตัวอาจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากไม่ได้เกิดการแปรรูปอย่างสม่ำเสมอในช่วงที่ตั้งใจวัด ส่งผลให้ข้อมูลไม่สะท้อนพฤติกรรมจริงของวัสดุ และอาจทำให้การประเมินคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผิดพลาด

## 5.4 ข้อควรระวังและข้อห้ามในการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึง (Tensile test) เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยความแม่นยำสูง ทั้งในการเตรียมตัวอย่าง การตั้งค่าการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ดังนั้น เพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย จำเป็นต้องตระหนักถึงข้อควรระวังและข้อห้ามต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 5.4.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

- ห้ามใช้ชิ้นงานที่มีตำหนิหรือผิวไม่เรียบ เช่น รอยขีดข่วน รอยบิ่น หรือสนิม เพราะอาจทำให้เกิดการกระจายแรงที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อค่าที่วัดได้
- ควบคุมขนาดของตัวอย่างตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ASTM หรือ ISO และต้องวัดขนาดอย่างแม่นยำโดยใช้เครื่องมือที่สอบเทียบแล้ว
- ห้ามจับหรือตัดตัวอย่างด้วยมือเปล่าอย่างรุนแรงก่อนการทดสอบ เนื่องจากอาจทำให้วัสดุเกิดการเสียรูปถาวรหรือมีแรงตกค้างภายในเนื้อวัสดุ
- ควรเตรียมตัวอย่างการทดสอบจำนวน 3-5 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

### 5.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นงานและตั้งค่าการทดสอบ

- ต้องติดตั้งชิ้นงานในหัวจับ (Grips) ให้ตรงแนวศูนย์กลาง เพื่อป้องกันการเกิดแรงในแนวแกนอื่นที่ไม่ต้องการ ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานขาดก่อนกำหนด
- ห้ามตั้งค่าความเร็วในการทดสอบหรือค่าลิมิตเกินกว่าความสามารถของเครื่อง เช่น แรงดึงเกิน 50 kN หรือระยะเคลื่อนที่เกิน 750 mm ในกรณีของเครื่องบางรุ่น
- ควรตรวจสอบการทำงานของโหลดเซลล์และเซ็นเซอร์ต่างๆ ก่อนเริ่มการทดสอบ หากอุปกรณ์วัดผิดพลาด อาจทำให้ผลที่ได้ไม่สามารถใช้งานได้จริง

### 5.4.3 ระหว่างการทดสอบ

- ห้ามอยู่ในตำแหน่งใกล้กับชิ้นงานขณะเครื่องกำลังทดสอบ เพราะเมื่อชิ้นงานขาด อาจเกิดการดีดตัว
- ควรสวมแว่นตาป้องกันการกระเด็นของวัสดุ
- ห้ามหยุดการทดสอบโดยไม่จำเป็น ยกเว้นกรณีเกิดความผิดปกติ เช่น เครื่องส่งสัญญาณเตือน หรือชิ้นงานหลุดจากหัวจับ
- ควรบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลหากเกิดเหตุขัดข้องระหว่างทดสอบ

#### 5.4.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

- ห้ามใช้ค่าที่ได้จากตัวอย่างที่ผิดมาตรฐานหรือเกิดการติดตั้งไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์หรือรายงานผล

- ควรตรวจสอบความถูกต้องของกราฟของแรงกับระยะยืด หรือความเค้นกับความเครียด ว่ามีรูปแบบสอดคล้องกับลักษณะของวัสดุหรือไม่ เช่น วัสดุเปราะไม่ควรมีการยืดตัวมาก

- ห้ามสรุปค่าทางกลโดยไม่ผ่านการตรวจสอบซ้ำหรือการวิเคราะห์ซ้ำจากหลายตัวอย่าง โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น งานโครงสร้าง

การทดสอบแรงดึงแม้เป็นกระบวนการพื้นฐาน แต่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาสมบัติของวัสดุ ทั้งในด้านงานวิจัย การออกแบบผลิตภัณฑ์ และการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นโลหะ พลาสติก โพลีเมอร์ หรือวัสดุผสม (Composite materials) จำเป็นต้องอาศัยความรอบคอบในทุกขั้นตอน ทั้งการเตรียม การติดตั้งชิ้นงาน การควบคุมเครื่องมือ และการแปลผล เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้อาจมีความถูกต้อง ปลอดภัย และสามารถใช้อ้างอิงในการออกแบบหรือวิจัยต่อไปได้อย่างเหมาะสม

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, Materials science and engineering: an introduction, 10th Edition, John Wiley & Sons, New York, 2018.
- [2] I. Faridmehr, M. H. Osman, A. B. Adnan, A. F. Nejad, R. Hodjati, M. A. Azimi, Correlation between Engineering Stress-Strain and True Stress-Strain Curve, Am. J. Civ. Eng. Archit. 2 (2014) 53-59.
- [3] L. Li, J. W. Mericke, Y. Tang, R. Song, J. E. Rittenhouse, A. Vakanski, F. Xu, Dataset of tensile properties for sub-sized specimens of nuclear structural materials, Sci. Data. 48 (2025).
- [4] กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ศิริชัย ต่อสกุล นรพร กลั่นประชา และ อนินท์ มีมนต์. (2553). วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : เซนเกจ เลินนิง (ประเทศไทย) จำกัด
- [5] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. (2550). การทดสอบแรงดึง (Tensile testing). สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- [6] ชำนาญ พันธุ์คำ และคณะ. (2541). เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงและความแข็งแรงของวัสดุ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [7] R. Singh. Mechanical Properties and Testing of Metals. Applied Welding Engineering Processes, Codes, and Standards. (2012) 87-94
- [8] A. Shokuhfar, and O. Nejadseyfi. A comparison of the effects of severe plastic deformation and heat treatment on the tensile properties and impact toughness of aluminum alloy 6061. Materials Science and Engineering: A. (594) 2014, 140-148
- [9] Y. Ji, L. Zhang, Q. Dong, X. Song, and B. Yang. Microstructure and tensile properties of 6061 aluminum alloy prepared by friction rolling additive manufacturing. Journal of Materials Research and Technology. (35) 2025, 5464-5474
- [10] A. Heidarzaden, H. Khodaverdizaden, A. Mahnoudi, and E. Nazari. Tensile behavior of friction stir welded AA 6061-T4 aluminum alloy joints. Materials & Design. (37) 2012, 166-173

ทรัพยากรเล่มนี้ ได้มอบให้ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้  
สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา  
เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ปลอมแปลง จัดเผยแพร่  
จำหน่าย ให้เช่า เข้าครอบครอง เรียกดูข้อมูล บันทึก ส่งผ่าน  
หรือกระทำการใด ๆ เกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของเล่ม โดยไม่ชอบด้วยกฎหมาย  
หรือโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการจากเจ้าของผลงาน