

การประมาณความไม่แน่นอนของการวัดคุณสมบัติทางกลในการทดสอบแรงดึง (The estimation of uncertainty of measurement of mechanical properties in tensile testing)

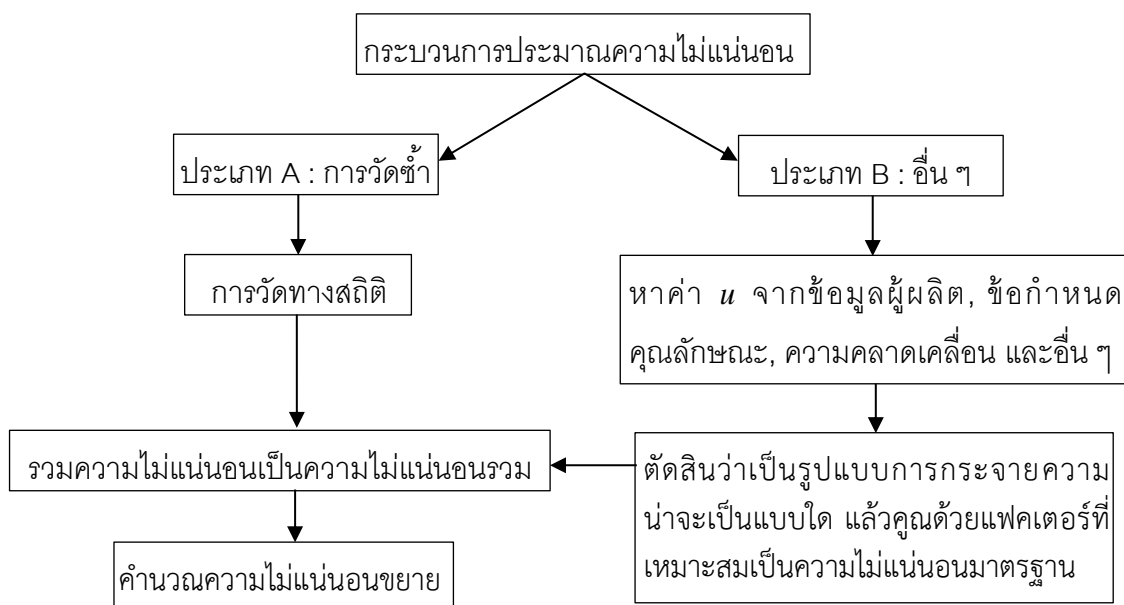
วิรัช ลามอ

นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

คำสำคัญ : ความไม่แน่นอน (Uncertainty) คุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ปัจจุบัน การทดสอบแรงดึงใช้กันอย่างกว้างขวางในการประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ การทดสอบสมรรถภาพผลิตภัณฑ์ การวิจัย เป็นต้น คุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบแรงดึงจึงมีความสำคัญมาก ในการทดสอบแรงดึง ผลการทดสอบได้รับผลกระทบจากความผิดพลาดต่าง ๆ เช่น กระบวนการวัด เครื่องมือวัด และอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถทราบได้อย่างแน่นอน หากแต่สามารถยืนยันได้ว่าผลการทดสอบมีความไม่แน่นอนจากความผิดพลาดต่าง ๆ ผลการวัดที่ได้แม้ว่าจะไม่สมบูรณ์ แต่ยังเป็นที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากเชื่อมโยงกับความไม่แน่นอน ดังนั้น ห้องปฏิบัติการทดสอบควรมีและใช้กระบวนการประมาณความไม่แน่นอนของการวัดคุณสมบัติทางกลในการทดสอบแรงดึง

ภาพที่ 1 กระบวนการประมาณความไม่แน่นอนโดยสรุป



กระบวนการประมาณความไม่แน่นอนในการทดสอบแรงดึง

1. ปัจจัยพารามิเตอร์ความไม่แน่นอนที่ประเมิน ในการทดสอบแรงดึง การวัดและปริมาณที่วัดแสดงได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวัด ปริมาณที่วัด และความสัมพันธ์ ในการทดสอบแรงดึง

การวัด	หน่วย	สัญลักษณ์	
ความหนาเดิมของชิ้นทดสอบทรงแบน	mm	a_o	
ความกว้างเดิมของชิ้นทดสอบทรงแบน	mm	b_o	
เส้นผ่านศูนย์กลางเดิมของชิ้นทดสอบทรงกลม	mm	d_o	
ความยาวพิกัดเดิม	mm	L_o	
แรงที่ใช้ระหว่างการทดสอบ	N	F	
การเคลื่อนที่ในแนวแกนระหว่างการทดสอบ	mm	$e(\Delta L)$	
ความยาวพิกัดสุดท้าย	mm	L_u	
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหลังจากการขาดของชิ้นทดสอบทรงกลม	mm	d_u	
ปริมาณที่วัด	หน่วย	สัญลักษณ์	ฟังก์ชัน
พื้นที่ภาคตัดขวางเดิม	mm	S_o	$S_o = a_o b_o, S_o = \frac{\pi}{4} d_o^2,$
มอดุลัสยืดหยุ่น	GPa	E	$E = \frac{FL_o}{\Delta LS_o}$
ความเค้นพิสูจน์สำหรับช่วงพลาสติกที่ร้อยละ 0.2%	MPa	$R_{p0.2\%}$	$R_p = \frac{F_{Rp}}{S_o}$
ความเค้นครากบน	MPa	R_{eH}	$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_o}$
ความเค้นครากล่าง	MPa	R_{eL}	$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_o}$
ความต้านแรงดึง	MPa	R_m	$R_m = \frac{F_m}{S_o}$
ความยืด	%	A	$A = \frac{(L_u - L_o)}{L_o} \times 100$
การลดทอนพื้นที่	%	Z	$Z = \frac{(S_o - S_u)}{S_o} \times 100$

2. บ่งชี้แหล่งความไม่แน่นอนในการทดสอบ ในขั้นตอนที่สอง ทำการบ่งชี้แหล่งของความไม่แน่นอนที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อทดสอบ

ตารางที่ 2 แหล่งความไม่แน่นอนและผลต่อความไม่แน่นอนของปริมาณที่วัด (1=มาก, 2=น้อย, 0=ไม่มี, ?=ไม่ทราบ)

แหล่งความไม่แน่นอน	ประเภท	E	$R_{p0.2\%}$	R_{eH}	R_{eL}	R_m	A	Z
1. ชั้นทดสอบ								
มิติ	B	2	2	2	2	2	2	2
ผิวสำเร็จ	B	2	2	2	2	2	2	2
ความเค้นหลงเหลือ	B	?	?	?	?	?	?	?
รูปร่างและขนาด	B	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
ตำแหน่งการขาด	B	0	0	0	0	0	1	1-2
2. ระบบการทดสอบ								
เครื่องมือวัดขนาด	B	1	1	1	1	1	2	2
ความยาวพิกัดเดิม	B	1	1	0	0	0	1	0
การติดตั้งเครื่องวัดการยืด	B	1	1	0	0	0	2	0
การได้แนว	B	1	1	1	1	2	2	0
ความแข็งแกร่งของเครื่องทดสอบ	B	1	1	1	1	2	2	2
ความแม่นยำการวัดแรง	B	1	1	1	1	1	0	0
ความแม่นยำการวัดการเคลื่อนที่	B	1	1	0	0	0	2	0
3. สภาวะแวดล้อม								
อุณหภูมิ	B	2	2	2	2	2	2	2
ความชื้น	B	0	0	0	0	0	0	0
4. กระบวนการทดสอบ								
การปรับศูนย์	B	2	1	1	1	1	2	2
อัตราความเค้น	B	1	1	1	1	1	2	2
อัตราความเครียด	B	1	1	1	1	1	1	1
ระบบการได้มาข้อมูล	B	1	1	1	1	2	2	0
ความถี่การสุ่มข้อมูล	B	1	1	1	1	2	2	0
การวัดพื้นที่ขาด	B	0	0	0	0	0	0	1
ซอฟต์แวร์	B	1	1	1	1	2	1	0

เพื่อให้ง่ายในการคำนวณความไม่แน่นอน แนะนำให้แบ่งกลุ่มแหล่งความไม่แน่นอนที่กระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการทดสอบแรงดึงดังนี้ : ความไม่แน่นอนเนื่องจากความผิดพลาดในการวัดพื้นที่

ภาคตัดขวาง ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดแรง ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดการเคลื่อนที่ และความไม่แน่นอนเนื่องจากปริมาณที่วัดที่ประเมิน

3. แบ่งประเภทความไม่แน่นอนตามประเภท A หรือ B ในขั้นตอนที่สาม แบ่งประเภทแหล่งความไม่แน่นอนเป็นประเภท A หรือ B ขึ้นอยู่กับวิธีประมาณอิทธิพลของแหล่งความไม่แน่นอน ถ้าประเมินความไม่แน่นอนจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต (จำนวนการทำซ้ำ) แบ่งประเภทได้เป็นประเภท A : $u_A(\bar{x}) = \frac{u(x)}{\sqrt{n}}$ โดยที่

s หรือ $u(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ ซึ่งเรียกว่าความไม่แน่นอนมาตรฐานการทดลอง จำนวนการทำซ้ำควรมากพอที่สามารถเชื่อมั่นในค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่ประมาณได้ ($n > 30$) ในการทดสอบแรงดึง ความไม่แน่นอนมาตรฐานที่คำนวณจากการทำซ้ำ 30 ครั้ง ดีกว่าที่คำนวณจากการทำซ้ำ 5 ครั้ง อย่างไรก็ตาม การทำซ้ำจำนวนหลายครั้งอาจมีค่าใช้จ่ายสูงหรือเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้น จึงต้องใช้แฟกเตอร์แก้ไข $\frac{1}{\sqrt{n}}$ สำหรับความไม่แน่นอนมาตรฐานการทดลอง

นอกจากนั้น หากประเมินความไม่แน่นอนโดยวิธีการอื่น แบ่งประเภทได้เป็นประเภท B ความไม่แน่นอนประเภท B สามารถรวบรวมได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น ใบรับรองการสอบเทียบ ข้อมูลผู้ผลิต หรือการประมาณของผู้เชี่ยวชาญ และอื่น ๆ ในการประมาณความไม่แน่นอน ให้พิจารณาแหล่งความไม่แน่นอนว่าเหมาะสมกับรูปแบบการกระจายความน่าจะเป็นใด : การกระจายแบบสี่เหลี่ยม ใช้กับความคลาดเคลื่อนข้อมูลผู้ผลิต ค่าอ้างอิงจากหนังสือ และอื่น ๆ นอกจากนั้น ยังใช้สำหรับกรณีไม่รูปร่างว่าเป็นรูปแบบการกระจายความน่าจะเป็นใด ความไม่แน่นอนมาตรฐาน คือ $u_R = \frac{a}{\sqrt{3}}$, การกระจายแบบสามเหลี่ยม ใช้ในกรณีที่ทราบค่าของผลต่อความไม่แน่นอนมีแนวโน้มอยู่ใกล้กับตรงกลางของช่วงการกระจาย ความไม่แน่นอนมาตรฐาน คือ $u_T = \frac{a}{\sqrt{6}}$ การกระจายแบบสี่เหลี่ยมสามารถใช้แทนได้ แต่ความไม่แน่นอนที่ประมาณได้จะมีค่าสูง, และการกระจายแบบยู ใช้ในกรณีที่ค่าของปริมาณที่วัดอยู่ที่หรือใกล้กับขอบเขตการกระจาย ความไม่แน่นอนมาตรฐาน คือ $u_V = \frac{a}{\sqrt{2}}$

4. ประมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานสำหรับแต่ละแหล่งความไม่แน่นอน ในขั้นตอนนี้ ประมาณความไม่แน่นอนมาตรฐาน u สำหรับแหล่งหลักแต่ละแหล่งของความไม่แน่นอน ความไม่แน่นอนมาตรฐานกำหนดเป็นหนึ่งความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้มาจากความไม่แน่นอนปริมาณนำเข้าหารด้วยพารามิเตอร์ d_v ซึ่งสัมพันธ์กับการกระจายความน่าจะเป็นที่สันนิษฐาน นอกจากนั้น ในหลายกรณีปริมาณนำเข้าอาจไม่มีหน่วยเดียวกันกับปริมาณผลลัพธ์ สัมประสิทธิ์ความไว c ที่เกี่ยวข้องจึงเป็นที่ต้องการทราบ ปกติประมาณได้จากการทำอนุพันธ์บางส่วนฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลลัพธ์และปริมาณนำเข้า

5. คำนวณความไม่แน่นอนรวม u_c ความไม่แน่นอนรวมสามารถคำนวณโดยผลรวมกำลังสอง :

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad \text{โดยที่ } c_i \text{ คือ สัมประสิทธิ์ความไวที่เกี่ยวข้องกับ } x_i \text{ ความไม่แน่นอนรวมที่ได้มีระดับความเชื่อมั่น 68.27\%}$$

ตารางที่ 3 ความไม่แน่นอนรวมของปริมาณที่วัดในการทดสอบแรงดึง

ฟังก์ชัน	สัมประสิทธิ์ความไว	ความไม่แน่นอนรวม
$S_o = a_o b_o$	$\frac{\partial S_o}{\partial a_o} = b_o, \frac{\partial S_o}{\partial b_o} = a_o$	$u_{S_o} = \sqrt{(b_o)^2 u_{a_o}^2 + (a_o)^2 u_{b_o}^2}$
$S_o = \frac{\pi d_o^2}{4}$	$\frac{\partial S_o}{\partial d_o} = \frac{\pi d_o}{2}$	$u_{S_o} = \sqrt{\left(\frac{\pi d_o}{2}\right)^2 u_{d_o}^2}$
$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta L} = \frac{1}{L_o}, \frac{\partial \varepsilon}{\partial L_o} = -\frac{\Delta L}{L_o^2}$	$u_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{1}{L_o}\right)^2 u_{\Delta L}^2 + \left(-\frac{\Delta L}{L_o^2}\right)^2 u_{L_o}^2}$
$R = \frac{F}{S_o}$ $R = R_{eH}, R_{p0.2}, R_{eL}, R_m,$ $F = F_{eH}, F_{0.2}^{(1)}, F_{eL}, F_m$	$\frac{\partial R}{\partial F} = \frac{1}{S_o}, \frac{\partial R}{\partial S_o} = -\frac{F}{S_o^2}$	$u_R = \sqrt{\left(\frac{1}{S_o}\right)^2 u_F^2 + \left(-\frac{F}{S_o^2}\right)^2 u_{S_o}^2}$
$A = \frac{(L_u - L_o)}{L_o} \times 100$	$\frac{\partial A}{\partial L_u} = \frac{1}{L_o}, \frac{\partial A}{\partial L_o} = \frac{1}{L_o} - \frac{L_u - L_o}{L_o^2}$	$u_A = \sqrt{\frac{1}{L_o^2} u_{L_u}^2 + \left(\frac{1}{L_o} - \frac{L_u - L_o}{L_o^2}\right)^2 u_{L_o}^2}$
$Z = \frac{(S_o - S_u)}{S_o} \times 100$	$\frac{\partial Z}{\partial S_o} = \frac{S_u}{S_o^2}, \frac{\partial Z}{\partial S_u} = -\frac{1}{S_o}$	$u_Z = \sqrt{\left(\frac{S_u}{S_o^2}\right)^2 u_{S_o}^2 + \left(-\frac{1}{S_o}\right)^2 u_{S_u}^2}$
$E = \frac{FL_o}{\Delta LS_o} = m_E \frac{L_o}{S_o}$	$\frac{\partial E}{\partial m_E} = \frac{L_o}{S_o}, \frac{\partial E}{\partial L_o} = \frac{m_E}{S_o}, \frac{\partial E}{\partial S_o} = -\frac{m_E L_o}{S_o^2}$	$u_E = \sqrt{\left(\frac{L_o}{S_o}\right)^2 S_{m_E}^2 + \left(\frac{m_E}{S_o}\right)^2 u_{L_o}^2 + \left(-\frac{m_E L_o}{S_o^2}\right)^2 u_{S_o}^2}$

หมายเหตุ (1) $u_c(F_{0.2}) = \sqrt{u^2(F_{0.2}) + u^2(\Delta F_{0.2}) + u^2(F_{0.2E})}$: โดยที่ $u(\Delta F_{0.2}) = \frac{F_{0.2(1)} - F_{0.2(2)}}{2\sqrt{3}}$,

$$u(F_{0.2}) = \frac{0.01F_{0.2}}{\sqrt{3}}, \text{ และ } u(F_{0.2E}) = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon - 0.002}{\Delta \varepsilon}\right)^2 u^2(\Delta F) + \left(-\frac{\Delta F(\varepsilon - 0.002)}{(\Delta \varepsilon)^2}\right)^2 u^2(\Delta \varepsilon) + \left(\frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon}\right)^2}$$

โดยที่ $u(\Delta F) = \sqrt{u^2(F_{\max}) + u^2(F_{\min})}$: โดยที่ $u(F_{\max}) = \frac{0.01F_{\max}}{\sqrt{3}}$ และ $u(F_{\min}) = \frac{0.01F_{\min}}{\sqrt{3}}$

$$u(\Delta \varepsilon) = \sqrt{u^2(\varepsilon_{\max}) + u^2(\varepsilon_{\min})} : \text{ โดยที่ } u(\varepsilon_{\max}) = \frac{K_\varepsilon \varepsilon_{\max}}{\sqrt{3}} \text{ และ } u(\varepsilon_{\min}) = \frac{K_\varepsilon \varepsilon_{\min}}{\sqrt{3}}$$

6. คำนวณความไม่แน่นอนขยาย U ความไม่แน่นอนขยายเป็นช่วงผลการวัดที่คาดหมายว่าส่วนการกระจายของค่าอยู่ในช่วงนั้น หาได้โดยการคูณความไม่แน่นอนรวม u_c ด้วยตัวประกอบครอบคลุม k ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ สำหรับการกระจายแบบปกติ ตัวประกอบครอบคลุมมีค่าเท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 94.5% แต่ทว่า ในกรณีที่การกระจายความน่าจะเป็นไม่ปกติ (หรือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประเภท A น้อย) ตัวประกอบครอบคลุมควรคำนวณจากองศาอิสระโดยวิธี Welch-

$$\text{Satterthwaite : } v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i^4 u^4(x_i)}{v_i}}$$

7. รายงานผล เมื่อได้ความไม่แน่นอนขยายแล้ว ควรรายงานผลการทดสอบในรูปแบบต่อไปนี้ $\bar{X} = \bar{x} \pm U$ โดยที่ \bar{X} คือ ค่าที่ประมาณของปริมาณที่วัด, \bar{x} คือ ค่ากลางของผลการทดสอบ, และ U คือ ความไม่แน่นอนขยายที่เกี่ยวข้องกับ \bar{x}

เอกสารอ้างอิง

- Gabauer, W. The determination of uncertainties in tensile testing. In **Manual of codes of practice for the determination of uncertainties in mechanical tests on metallic materials**. Standards measurement & testing project no. SMT4-CT97-2165. 2000. p.3-23
- Ktysz, S. & Lisiecki, J. Selected problems of measurement uncertainty – part 1. In **Technical Sciences** no.11. 2008. p.257-261.
- Ktysz, S. and Lisiecki, J. Selected problems of measurement uncertainty – part 2. In **Technical Sciences** no. 11. 2008. p.272-274.
- Loveday, M. S. Room temperature tensile testing : a method for estimating uncertainty of measurement. NPL Report CMMT(MN)048, 11. 1999. p.6-7.
- Tarafder, S. and Gupta K. K. **Estimation of uncertainty in mechanical testing**. Study material of refresher course on ISO/IEC 17025 standards. 2004. p.4-8.

กองวัสดุวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

โทร 0 2201 7358

E-mail : werachai@dss.go.th

ตุลาคม 2561