

ศาสตร์แห่งการวัด ละเอียดเฉพาะทาง

คู่มือฉบับสมบูรณ์: ยกระดับคุณภาพ
อุตสาหกรรมด้วยมาตรวิทยา

นำเสนอโดย Chief Metrologist

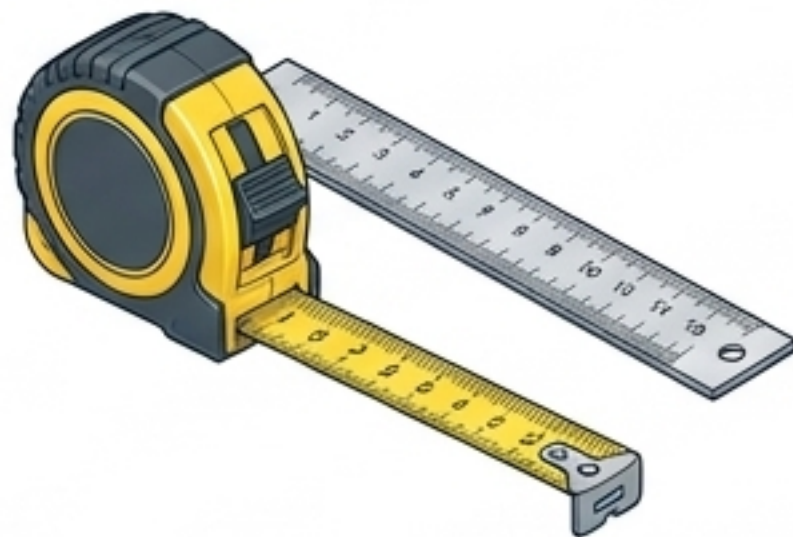


ทำไมอุตสาหกรรมสมัยใหม่จึงขาด "มาตรวิทยา" ไม่ได้?

ความแม่นยำคือหัวใจของการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เครื่องมือวัดทั่วไปให้ความละเอียดระดับมิลลิเมตร แต่เครื่องมือวัดละเอียดเฉพาะทางสามารถเข้าถึงระดับ 1 ไมครอน (0.001 มม.)



เครื่องมือวัดทั่วไป



- ตลับเมตร, ไม้บรรทัด
- ความละเอียด: 1 มม.
- เหมาะกับ: งานทั่วไป, ก่อสร้าง

เครื่องมือวัดละเอียดเฉพาะทาง



- ไมโครมิเตอร์, ไดอัลเกจ, CMM
- ความละเอียด: 0.01 ถึง 0.001 มม.
- เหมาะกับ: งานที่มีพิสัยความเผื่อ (Tolerance) แคบ, ชิ้นส่วนอุตสาหกรรมแม่นยำ

เปิดคลังแสงเครื่องมือวัดละเอียด (The 4 Precision Families)

จำแนกตามลักษณะการวัดและหน้าที่การใช้งานในอุตสาหกรรม



1. มิติพื้นฐานความละเอียดสูง

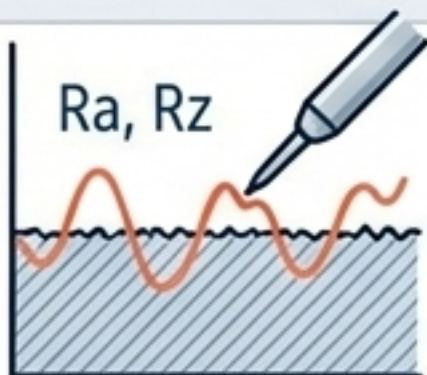
วัดกว้าง ยาว ลึก
และเส้นผ่านศูนย์กลางโดยตรง
(เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์,
ไมโครมิเตอร์, ไตไฮเกจ)

2. เปรียบเทียบและตรวจสอบรูปร่าง

หาความคลาดเคลื่อน, ความ
ขนาน, และความเยื้องศูนย์กลาง
(เช่น ไดอัลเกจ, บอร์เกจ,
ไดอัลเทส)



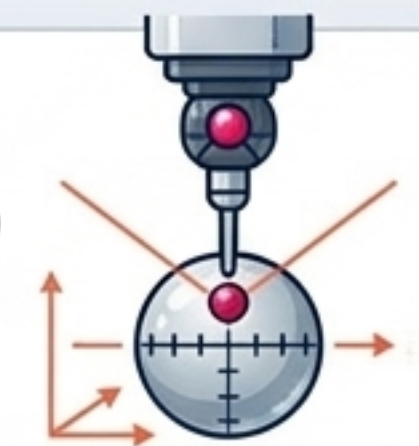
3. คุณลักษณะผิวและรูปร่าง



ประเมินความหยาบผิว (Ra, Rz)
และความกลมสมบูรณ์
(เช่น เครื่องวัดความหยาบผิว,
เครื่องวัดความกลม, เครื่องฉายภาพ)

4. พิภด 3 มิติ และเกจตรวจสอบ

วิเคราะห์ GD&T ที่ซับซ้อน
และตรวจสอบแบบ Go/No-Go
(เช่น เครื่อง CMM,
Limit Gauges)



Group 1: มิติพื้นฐานความละเอียดสูง

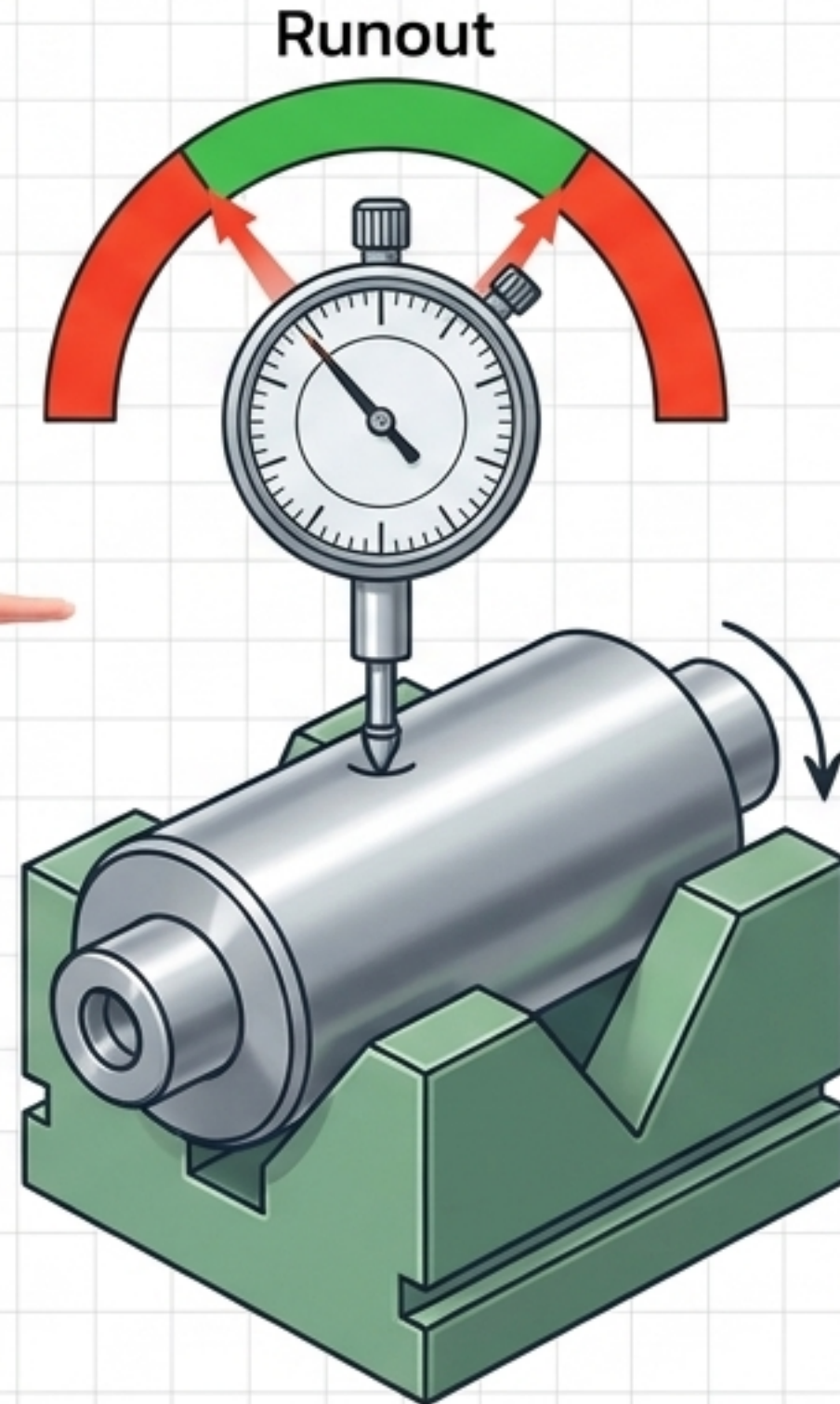
เครื่องมือสามัญประจำโต๊ะทำงานช่างกลและวิศวกร



		
เครื่องมือ: เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)	เครื่องมือ: ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)	เครื่องมือ: ไฮเกจ (Height Gauge)
ความละเอียด: 0.05 / 0.02 / 0.01 มม.	ความละเอียด: 0.01 / 0.001 มม.	ความละเอียด: 0.02 ถึง 0.001 มม.
จุดเด่น: อเนกประสงค์ที่สุด วัดนอก วัดใน วัดลึก ได้ในตัวเดียว	จุดเด่น: แม่นยำกว่าเวอร์เนีย อาศัยหลักการของสกรูนำ (Lead Screw) เพื่อความเที่ยงตรงสูงสุด	จุดเด่น: ใช้วัดความสูงจากแท่นระดับ (Surface Plate) และใช้ขีดรอย (Scribing) กำหนดตำแหน่ง

Group 2: เครื่องมือวัดแบบเปรียบเทียบ

เครื่องมือกลุ่มนี้ไม่ได้วัดขนาดโดยตรง แต่ใช้หา “ความเบี่ยงเบน” (Deviation) จากค่ามาตรฐาน



ไดอัลเกจ (Dial Indicator) & ไดอัลเทส

แปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นเล็กน้อยให้เป็นเข็มหมุนบนหน้าปัด

- งานหลัก: ตรวจสอบความเป็นระนาบ (Flatness), ความขนาน (Parallelism), และความเยื้องศูนย์กลาง (Runout) ของชิ้นงานทรงกระบอก
- โปรดทราบ: ไดอัลเทสมีคันโยก (Lever Arm) เล็ก เข้าถึงพื้นที่แคบได้ดีกว่า

บอร์เกจ (Bore Gauge)

เครื่องมือวัดรูในขั้นสูง

- ต้องตั้งค่าศูนย์ (Zero) เทียบกับไมโครมิเตอร์หรือริงเกจก่อนเสมอ
- ต้องแสวงหาจุดที่ให้ “ค่าน้อยที่สุด” เพื่อให้แน่ใจว่าแกนวัดตั้งฉากกับรูอย่างแท้จริง


Advanced Metrology: วิเคราะห์พื้นผิวและพิกัด 3 มิติ

สุดยอดเทคโนโลยีสำหรับชิ้นงานรูปทรงซับซ้อน งานวิศวกรรมย้อนกลับ และ GD&T



Surface & Profile

- เครื่องวัดความหยาบผิว (Roughness Tester): ใช้หัวเพชรขนาดจิ๋วสแกนผิว หาค่า Ra (ค่าเฉลี่ยความหยาบ) และ Rz
- เครื่องวัดความกลม (Roundness Tester): หาค่าความเป็นทรงกระบอกและการร่วมศูนย์
- เครื่องฉายภาพ (Profile Projector): ขยายเงาชิ้นงานเล็กๆ เพื่อเปรียบเทียบกับแบบร่าง



เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine)
อุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดมิติ X, Y, Z แบบครบจักรวาล

- Bridge Type: โครงสร้างคล้ายสะพาน ยอดนิยมนำมาใช้ในงานทั่วไป
- Portable Arm: แขนกลหลายข้อต่อ สำหรับงานภาคสนาม
- จุดเด่น: ตรวจสอบ GD&T ได้ครบถ้วนในครั้งเดียว!

กฎเหล็กและการเลือกใช้เครื่องมือ (Selection Rules)

การวัดจะไร้ความหมาย หากคุณเลือกเครื่องมือผิดประเภทตั้งแต่ต้น



The 10:1 Rule (กฎสิบต่อหนึ่ง)



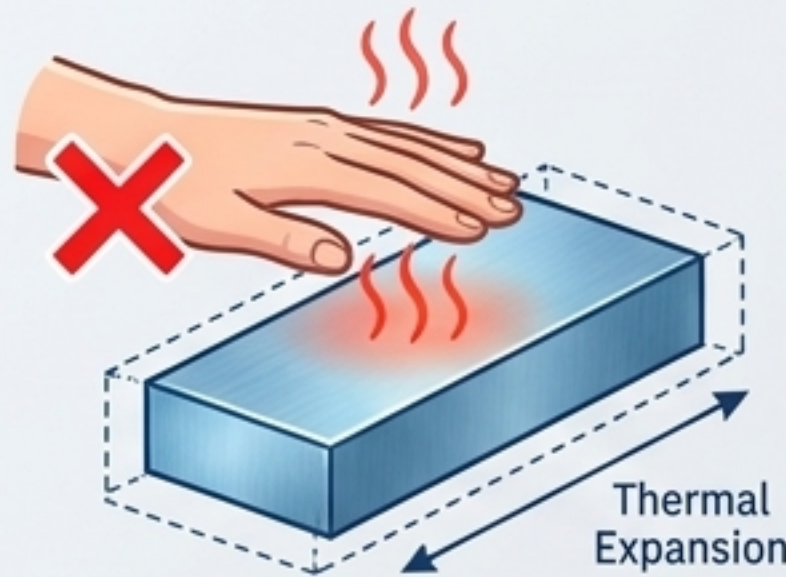
ตัวอย่าง: งาน Tolerance ± 0.1 มม. \rightarrow ต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดอย่างน้อย 0.01 มม.

- งาน Mass Production? \rightarrow เลือก Limit Gauges (Plug/Ring) ตรวจสอบ Go/No-Go สวดเร็ว
- งานทรงกระบอก/แอกน? \rightarrow เลือก ไมโครมิเตอร์ หรือ เครื่องวัดความกลม
- รูลึก? \rightarrow เลือก บอร์เกจ (Bore Gauge)
- รูปทรง 3 มิติซับซ้อน? \rightarrow เลือก CMM
- วัสดุอ่อน/เสียรูปง่าย? \rightarrow เลือก เครื่องมือวัดแบบไม่สัมผัส (Optical/Laser)

การเตรียมชิ้นงาน: ป้องกันที่ทำลายความแม่นยำ

ความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมงาน อาจสูงกว่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดเองเสียอีก!

อุณหภูมิคือผู้ชี้ชะตา (Thermal Stabilization)



- อุณหภูมิมาตรฐานสากลสำหรับการวัดคือ 20°C (68°F)
- เหล็กกล้าขยายตัวประมาณ ~11.7 ไมครอน/เมตร/°C
- **ข้อควรระวัง:** ห้ามจับชิ้นงานด้วยมือเปล่านานๆ (อุณหภูมิคน 37°C ทำให้ชิ้นงานขยายตัว) ควรพักงานในห้องแอร์ 30-60 นาที

ความสะอาดและการจับยึด



- **ลบคม** (Deburring) เสมอ รอยเย็นเล็กๆ บนขอบชิ้นงานทำให้ค่าเพี้ยนทันที



- ใช้ V-Block ยึดงานทรงกระบอกให้อยู่นิ่งและมีแกนอ้างอิงที่แน่นอน



- **ทำความสะอาดคราบน้ำมันและเศษฝุ่น**บนเครื่องมือและชิ้นงานก่อนวัดเสมอ



ขั้นตอนการใช้งาน: เวอร์เนียคาลิปเปอร์

เครื่องมืออเนกประสงค์พื้นฐานที่ช่างกลและวิศวกรทุกคนต้องใช้ให้เป็น



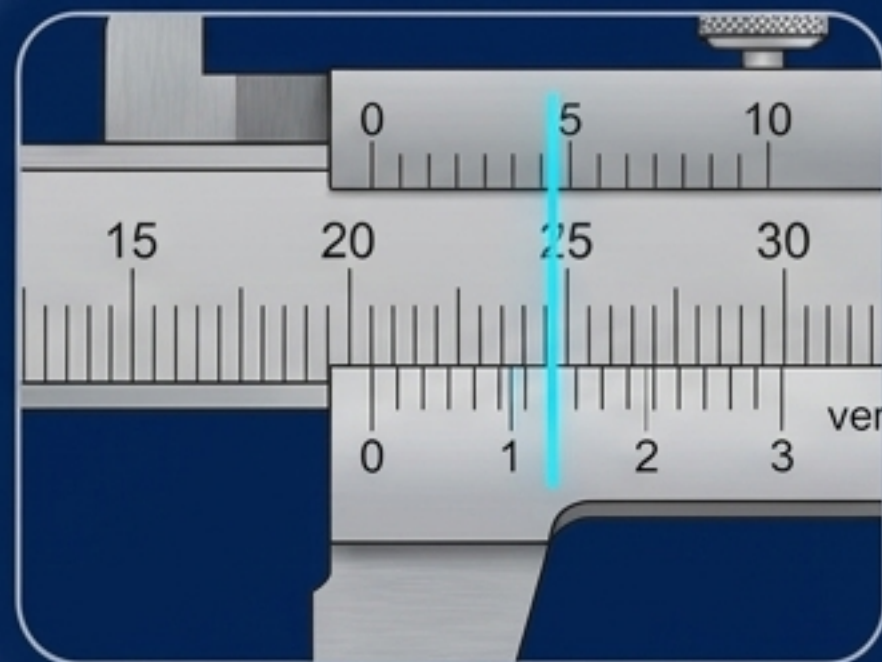
1. Zero Check & Clean

ปิดปากวัดให้สนิท ตรวจสอบว่าขีด 0 ตรงกัน หากคลาดเคลื่อนต้องปรับตั้งหรือบันทึกค่าไว้หากล้าง



2. หนีบชิ้นงานให้ถูกมุม

ปากวัดต้องตั้งฉากกับแกนชิ้นงาน ไม่เอียงหรือบิดเบี้ยว ใช้แรงกดพอเหมาะ (ไม่แน่นเกินไป) แล้วล็อกสกรู

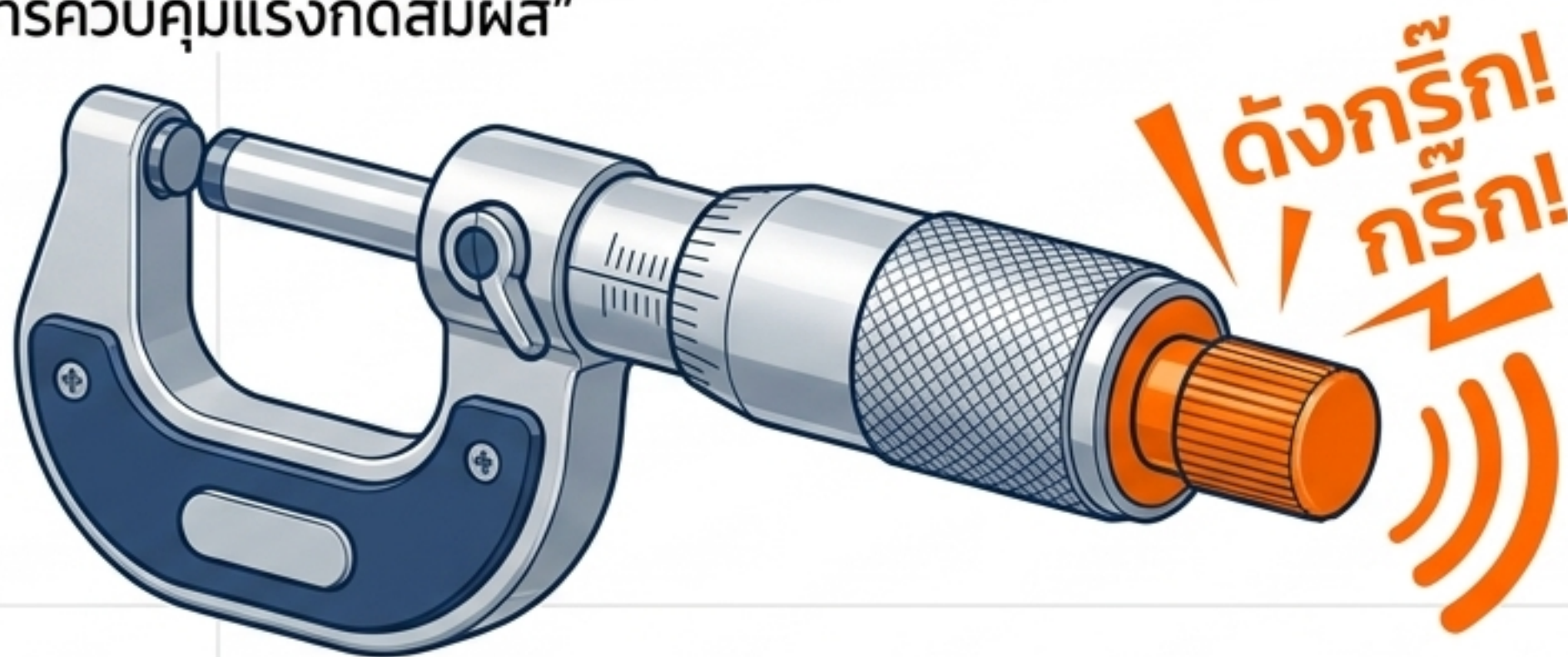


3. การอ่านค่า (แบบสเกลขีด)

- สเกลหลัก: ดูว่าขีด 0 ของเวอร์เนียชี้เลยขีดไหนของสเกลหลักมา (เช่น 23 มม.)
- สเกลทศนิยม: หาขีดที่สเกลเวอร์เนียตรงกับสเกลหลักมากที่สุด (เช่น ขีดที่ 14 x 0.02 = 0.28 มม.)
- ผลลัพธ์: $23 + 0.28 = 23.28$ มม.

ขั้นตอนการใช้งาน: ไมโครมิเตอร์

กุญแจสำคัญของความแม่นยำระดับไมครอนคือ "การควบคุมแรงกดสัมผัส"



จุดสำคัญ: หัวหมุนกระทบเลื่อน (Ratchet Stop)

เมื่อนำสัมผัสเกือบแตะชิ้นงาน ให้เปลี่ยนมาหมุน Ratchet Stop จนได้ยินเสียง ดังกร๊าก 2-3 ครั้ง เพื่อให้ได้แรงกดคงที่ (5-10 นิวตัน) ห้ามหมุนปลด Thimble อัดชิ้นงานเด็ดขาด! (ชิ้นงานจะเสียรูป)

วิธีการอ่านค่า (ต้องทำการ Zero Calibration ด้วย Gauge Block ก่อนเสมอ)

1. Sleeve (สเกลหลัก): อ่านค่า มม. และ 0.5 มม. (เช่น 7.5 มม.)
2. Thimble (สเกลรอง): ดูขีดบน Thimble ที่ตรงกับเส้นแกนหลัก (เช่น ขีดที่ 28 = 0.28 มม.)
3. รวมค่า: $7.5 + 0.28 = 7.78$ มม.

5 เทคนิคระดับโปร เพื่อผลลัพธ์ที่ไร้ที่ติ

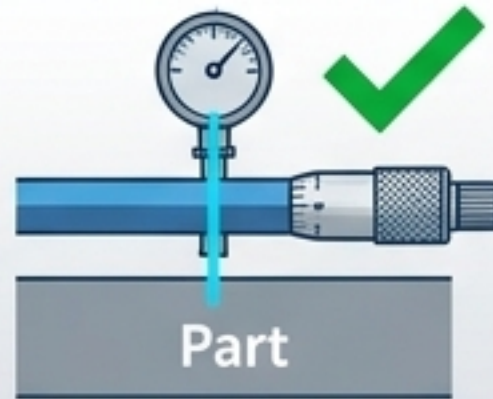
ยกระดับจากแค่ "วัดได้" สู่การ "วัดได้อย่างถูกต้อง 100%"

1. วัดซ้ำหาค่าเฉลี่ย (Repeatability): วัดตำแหน่งเดิม 3 ครั้ง หากค่าต่างกันมาก ให้ตรวจสอบการจับยึด

2. กระจายจุดวัด (Sampling Strategy): วัดหลายจุดให้ครอบคลุมเพื่อหาค่าความกลม/ระนาบที่แท้จริง

3. ควบคุมแรงกด (Gauging Force): ป้องกันการเสียรูปชิ้นงาน (Elastic Deformation) จากแรงที่มากเกินไป

4. หลีกเลี่ยง Abbe's Error:
แกนวัดและแกนชิ้นงานต้องอยู่ในแนวเดียวกันเป๊ะ!
หากเกิดมุมเอียงจะเกิด Cosine Error กันที



5. ชดเชยอุณหภูมิ:
หากห้องไม่ใช่ 20°C ต้องนำค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (CTE) มาคำนวณชดเชย



ข้อควรระวังขั้นวิกฤต (Strict Precautions)

พฤติกรรมที่อาจทำลายทั้งเครื่องมือวัดราคาแพงและชิ้นงานของคุณ



❌ ห้ามวัดชิ้นงานขณะเครื่องจักรทำงานเด็ดขาด!
อันตรายถึงชีวิตและทำให้เครื่องมือพังพินาศ



❌ ระวัง Parallax Error! ในการอ่านสเกลขีด
สายตาต้องตั้งฉากกับสเกลหน้าปิดเสมอ ห้ามมองมุมเอียง



ห้ามวัดชิ้นงานที่ยังร้อน! ค่าจะผิดเพี้ยนและเครื่องมือ
วัดอาจขยายตัวตามจนเสียหาย



ห้ามใช้แทนเครื่องมือช่าง! ห้ามเอาปากเวอร์เนียไป
ขีดรอยแทนเหล็กแหลม หรือใช้เป็นตัวกัน

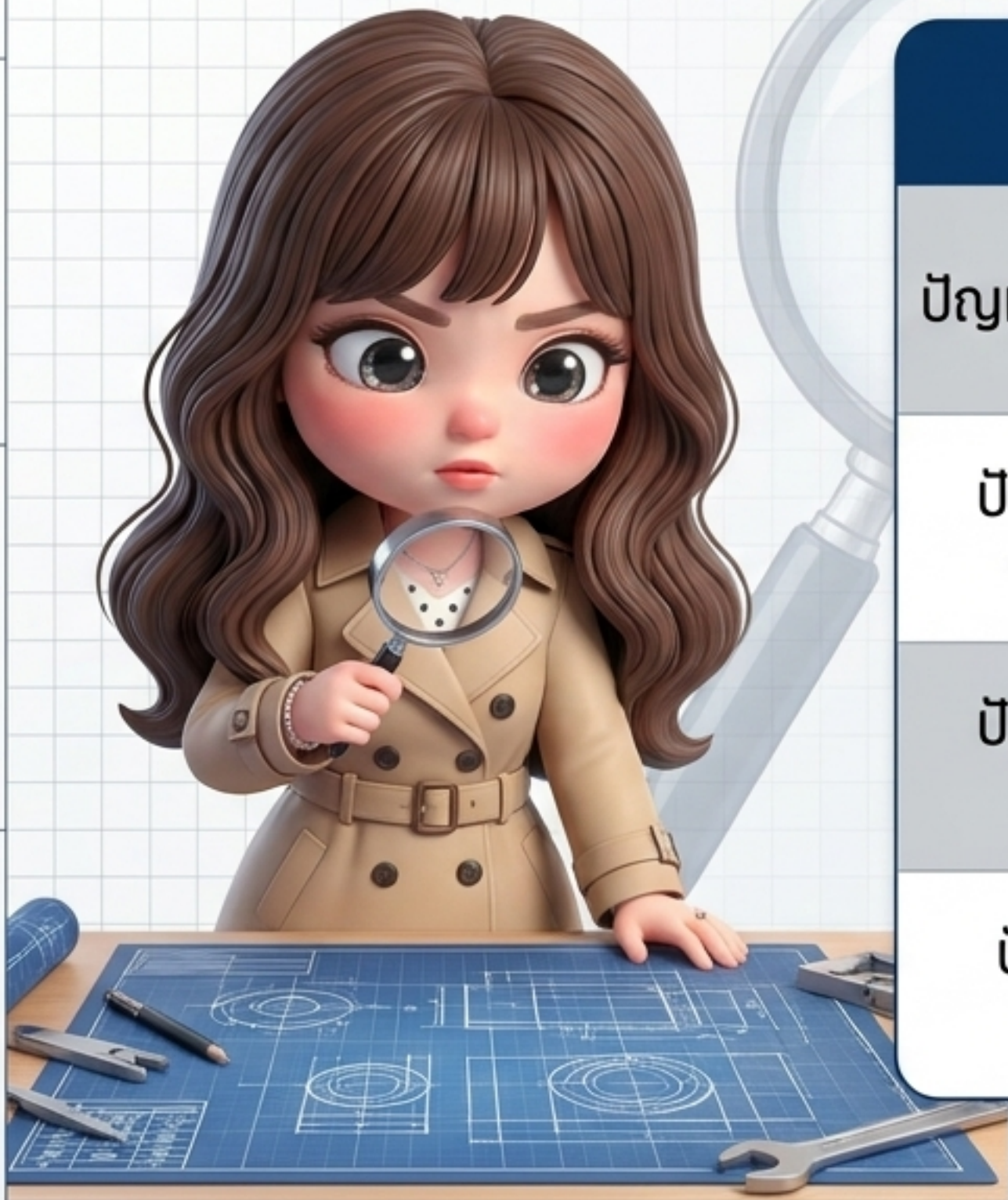


ห้ามทิ้งกระแทก! เครื่องมือละเอียดอ่อนมาก ตกเพียง
ครั้งเดียว ความแม่นยำอาจสูญเสียวินาที และต้องนำไป
สอบเทียบ (Calibration) ใหม่ทันที



วิเคราะห์ปัญหาแบบผู้เชี่ยวชาญ (Root Cause Analysis)

เครื่องมือวัดไม่ได้มีไว้แค่ตัดสิน "ผ่าน/ไม่ผ่าน" แต่มีไว้ "ค้นหาสาเหตุรากของปัญหา" (Process Improvement)



ปัญหาที่พบ	เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	สาเหตุที่แท้จริง
ปัญหา: เพลาสวมเข้ารูไม่ได้	ใช้: CMM / เครื่องวัดความกลม	สาเหตุ: เพลามีความเยื้องศูนย์เกินค่าพิกัด
ปัญหา: เครื่องจักร/ชิ้นงานสันผิดปกติ	ใช้: ไดอัลเกจ (Dial Indicator)	สาเหตุ: มีค่าการหนีศูนย์ (Runout) เกินมาตรฐาน
ปัญหา: พื้นผิวสึกหรอเร็วกว่ากำหนด	ใช้: Surface Roughness Tester	สาเหตุ: ค่า Ra (ความหยาบ) สูงเกินไป เกิดแรงเสียดทาน
ปัญหา: รูเจาะกลมสวมไม่พอดี	ใช้: บอร์เกจ (Bore Gauge)	สาเหตุ: รูเจาะมีรูปทรงเป็นวงรี (Oval) ไม่ใช่วงกลมสมบูรณ์

ยกระดับสู่ Smart Manufacturing (Industry 4.0)

เชื่อมโยงข้อมูลมาตรวิทยาสู่ระบบดิจิทัล เพื่อการตัดสินใจแบบ Real-time และลด Human Error



Digital Caliper



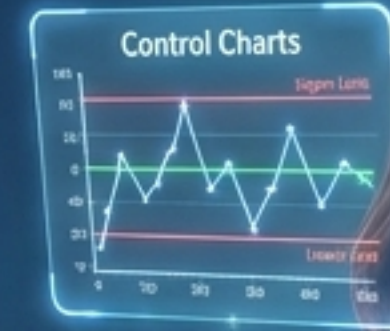
Wireless
Signal



Database Cloud



Real-time
Dashboard/ERP



1. การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ (SPC): นำข้อมูลไปคำนวณค่า Cp/Cpk เพื่อคาดการณ์ และปรับตั้งเครื่องจักรก่อนที่จะเกิดของเสีย (Defect Prevention)

2. Wireless Data Transfer: อุปกรณ์ดิจิทัลส่งผลการวัดเข้าฐานข้อมูลทันที ลดความผิดพลาดจากการจดบันทึกด้วยคน

3. Reverse Engineering: ใช้ 3D Scanner หรือ Portable CMM สแกนชิ้นงานเก่าที่ไม่มีแบบ เพื่อสร้าง CAD Model ผลิตชิ้นส่วนทดแทน

4. ERP/MES Integration: เชื่อมข้อมูลผลการวัดเข้ากับระบบบริหารโรงงาน โดยตรงเพื่อติดตามคุณภาพระยะยาว

สรุป: คุณค่าที่แท้จริงของการวัดละเอียด

การวัดชิ้นงานด้วยเครื่องมือวัดละเอียดเป็น 'ศาสตร์และศิลป์' ที่เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตทั้งระบบ

1. ควบคุมคุณภาพ (Control):

สร้างมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้เที่ยงตรงตามแบบ Drawing ทุกประการ



2. ลดความสูญเปล่า (Reduce):

ตรวจจับแนวโน้มความผิดพลาด ลดของเสีย และประหยัดต้นทุนการผลิต

3. พัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Improve):

วิเคราะห์ Root Cause เพื่อยกระดับความสามารถของกระบวนการผลิตให้เหนือคู่แข่ง

“ความแม่นยำของคุณ คือคุณภาพของโลก”

(ทบทวนการสอบเทียบทุกๆ 6-12 เดือน เพื่อรักษาความแม่นยำตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025)