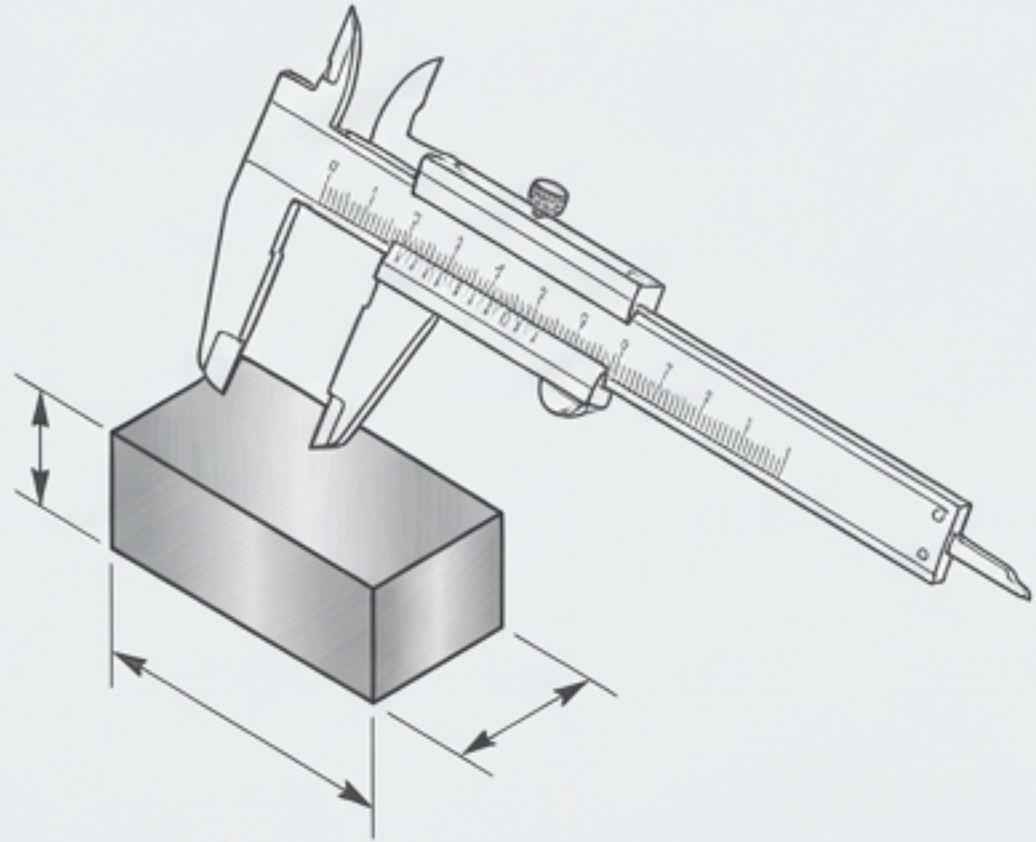


# เทคโนโลยี มาตรวิทยา CMM ยุคอุตสาหกรรม 4.0

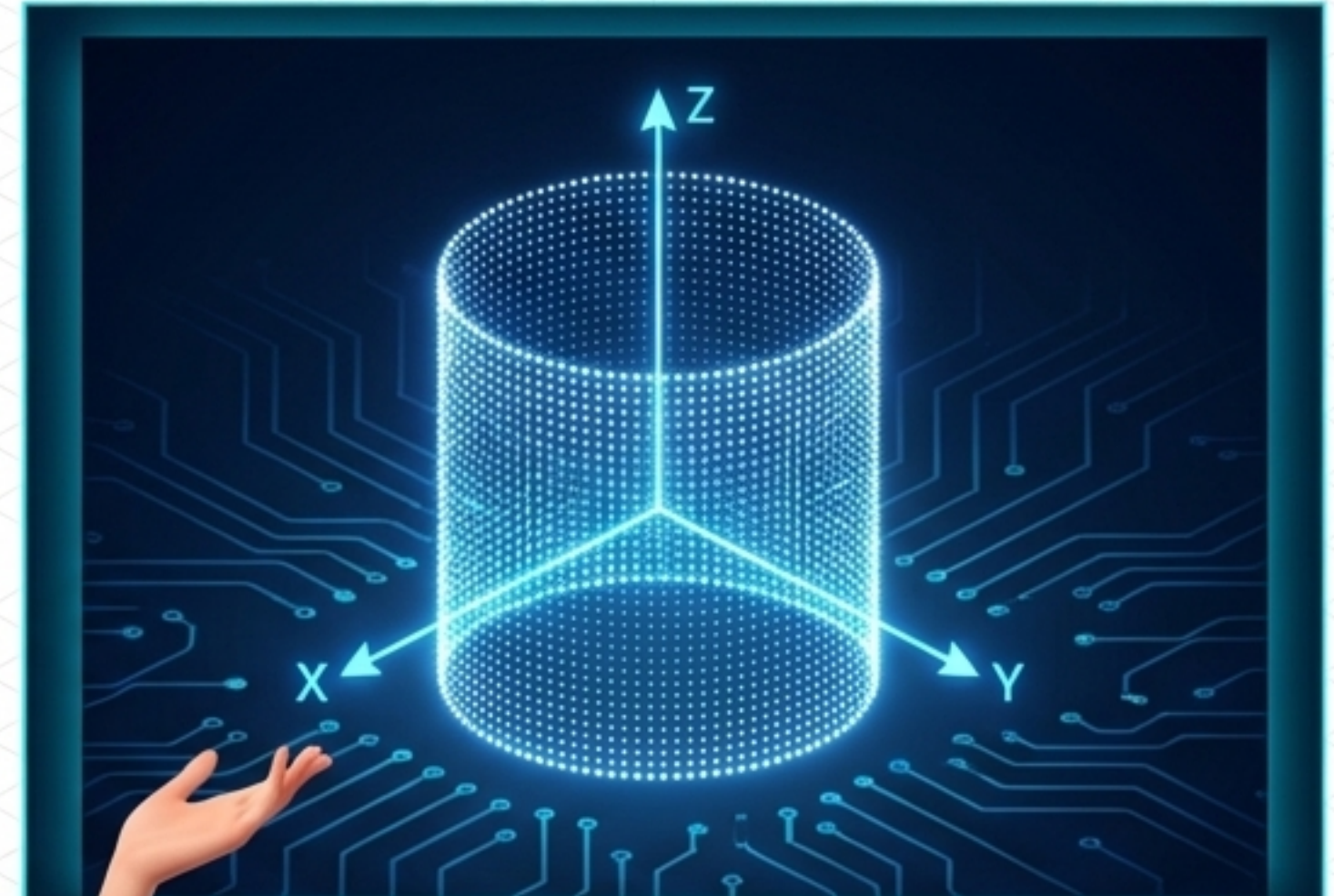
จากการสัมผัสทางกายภาพ  
สู่ความสมบูรณ์แบบดิจิทัล



# ก้าวข้ามมิติ: จากเส้นตรงสู่แบบจำลองเรขาคณิตสามมิติ



- วัดแบบ 1 มิติ (Linear)
- ใช้แรงงานคน (Manual)
- ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ GD&T แบบซับซ้อน



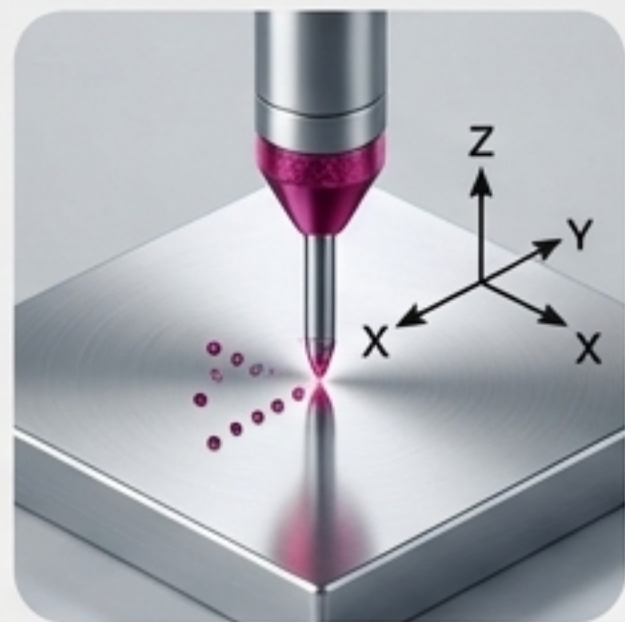
- ทำงานในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (X, Y, Z)
- สร้างกลุ่มจุด (Point Cloud) เพื่อประมวลผลทางคณิตศาสตร์
- วิเคราะห์ GD&T ได้อย่างสมบูรณ์แบบและทำงานอัตโนมัติ

# กลไกการทำงาน 4 ขั้นตอน: จากโลกกายภาพสู่การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์



## สร้างระบบพิกัด (Alignment)

เชื่อมโยงระบบพิกัดของ  
เครื่องเข้ากับชิ้นงาน



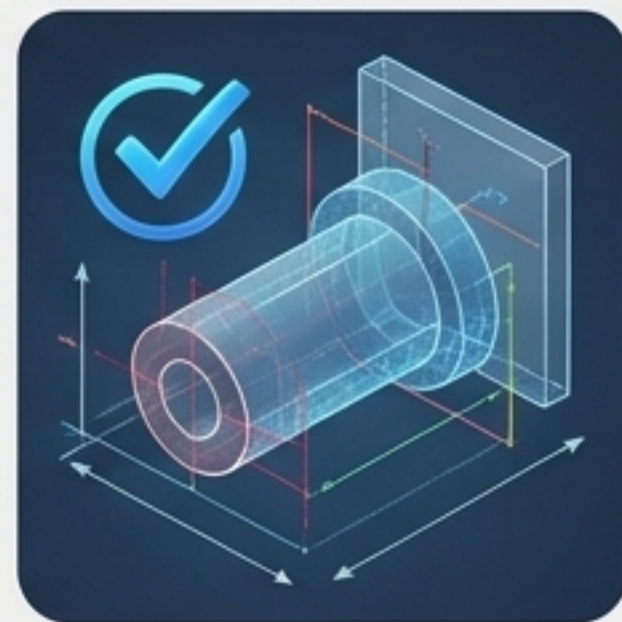
## ปฏิสัมพันธ์ของหัววัด

หัววัดสัมผัสพื้นผิวเพื่อ  
ดึงค่าพิกัด XYZ เชิงพื้นที่



## การเปลี่ยนจากจุด สู่เรขาคณิต

ใช้คณิตศาสตร์สร้าง  
รูปร่างจาก Point Cloud

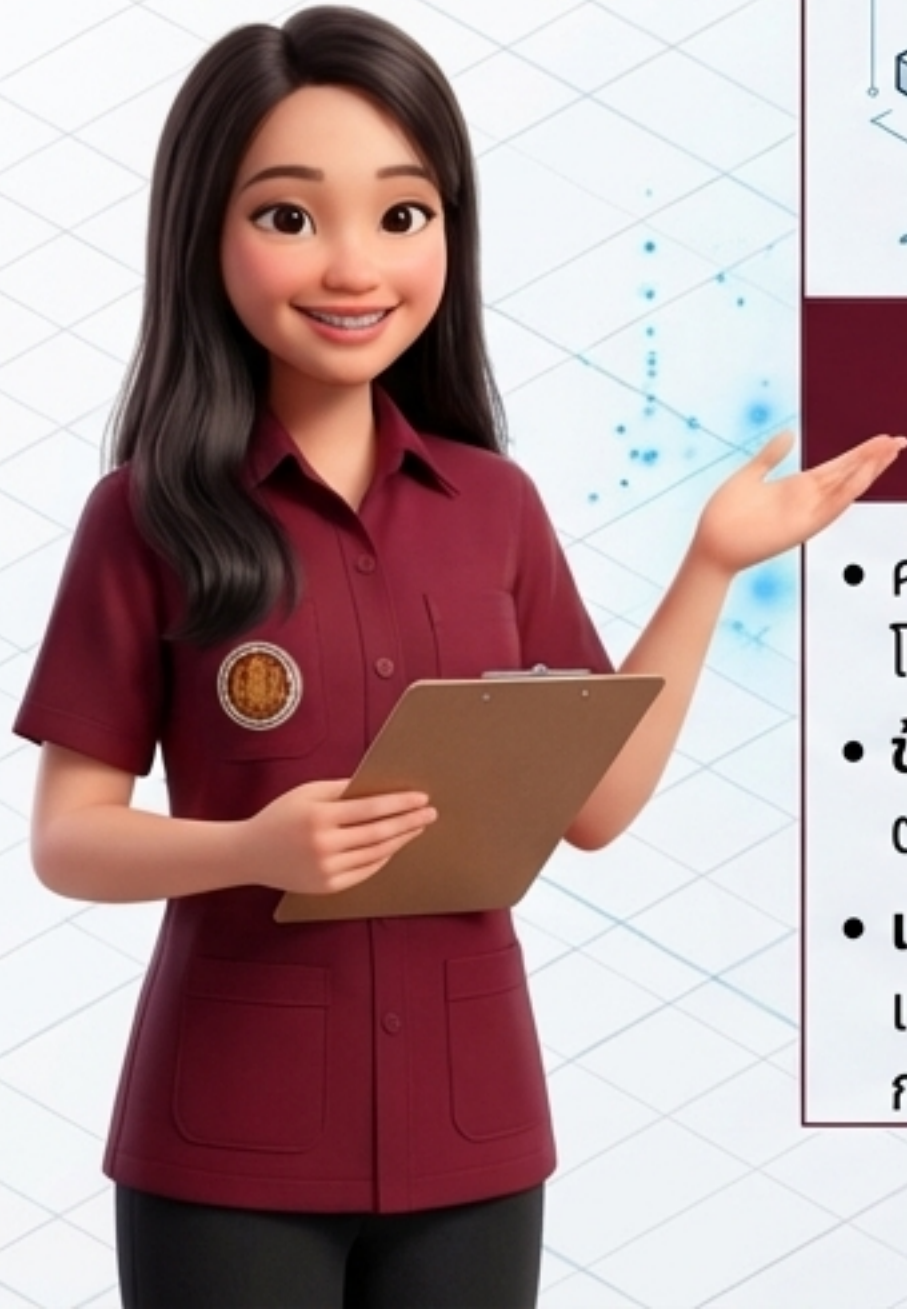


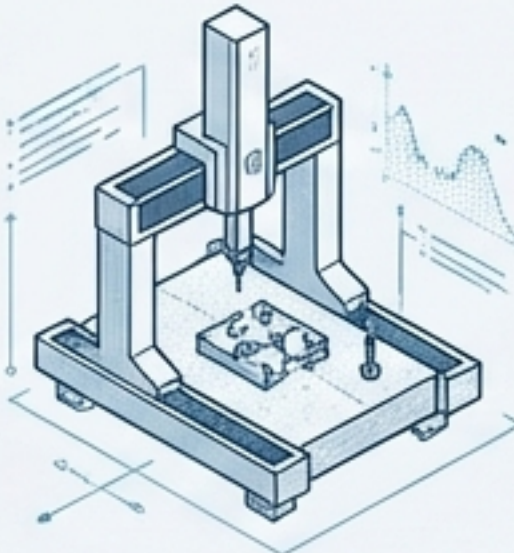
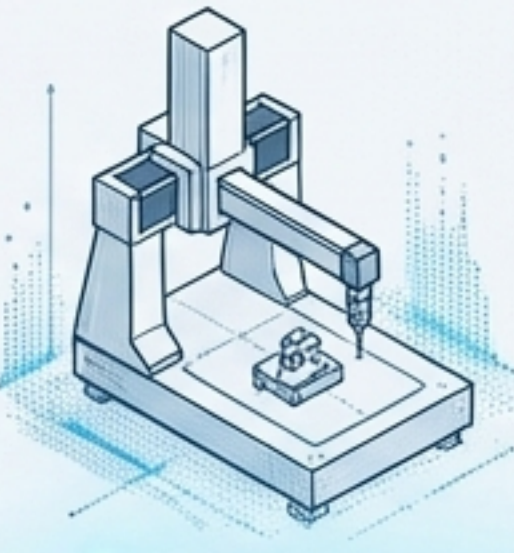
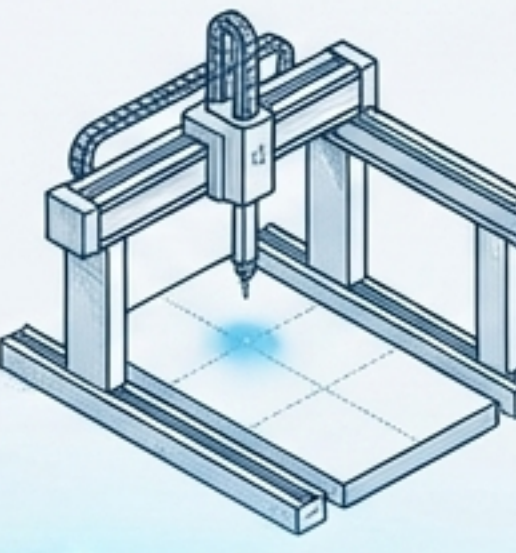
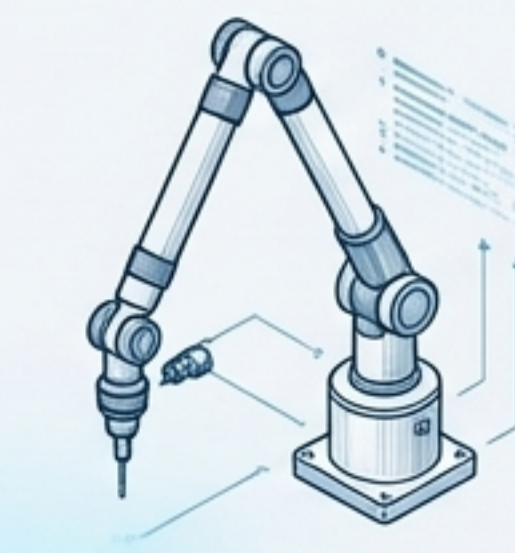
## การประเมินผล (CAD Evaluation)

เปรียบเทียบรูปร่างที่วัดได้  
กับค่า Nominal ใน CAD



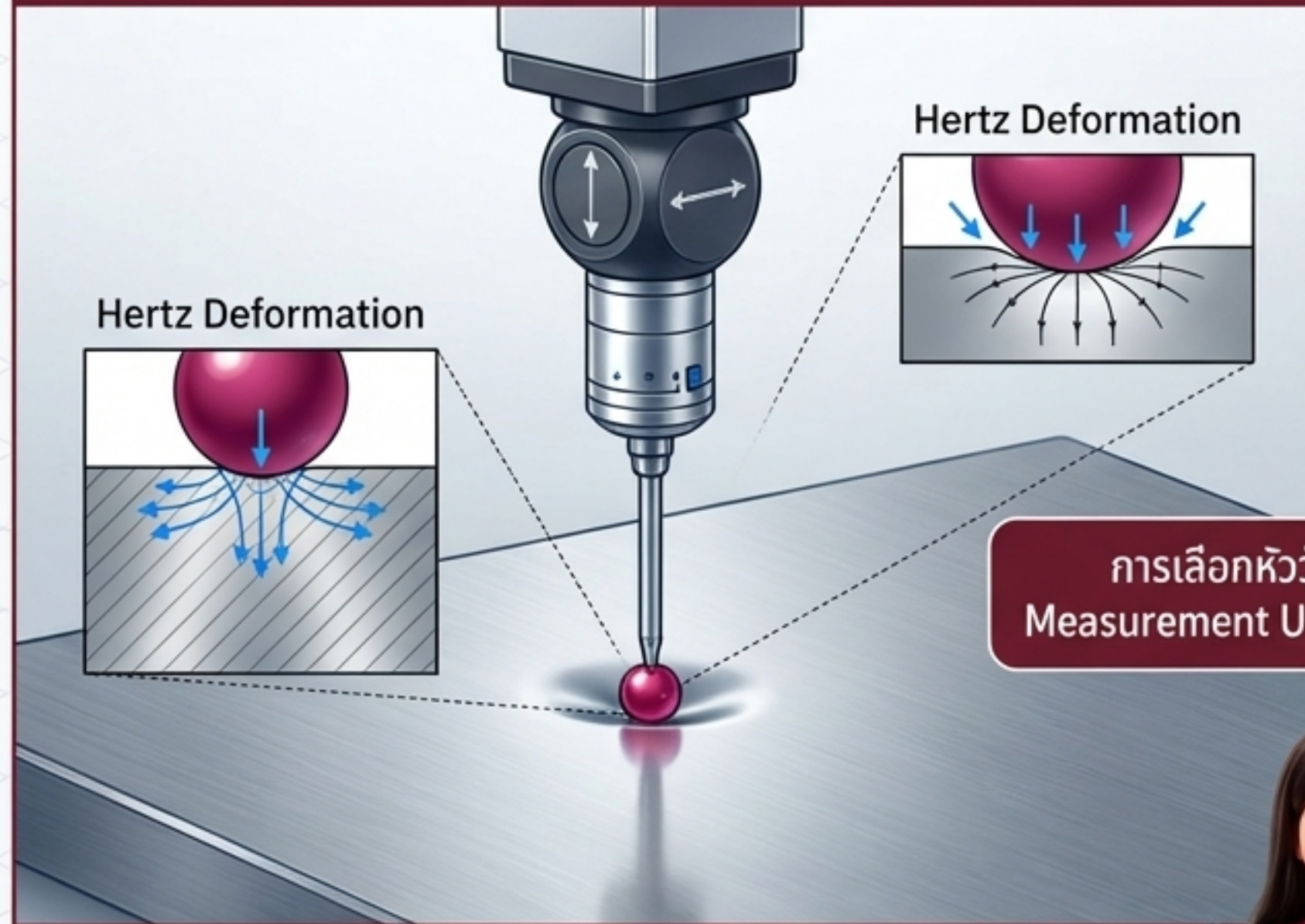
# สถาปัตยกรรมทางกล: โครงสร้างหลักของความแม่นยำ



			
<b>Bridge Type (แบบสะพาน)</b>	<b>Cantilever Type</b>	<b>Gantry Type</b>	<b>Portable Arm</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• ความแม่นยำสูงสุด โครงสร้างมั่นคง</li><li>• <b>ข้อจำกัด:</b> พื้นที่วัดตายตัว</li><li>• <b>เหมาะสำหรับ:</b> ชิ้นส่วนเครื่องยนต์, อุปกรณ์การแพทย์</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• เข้าถึงชิ้นงานได้ 3 ด้าน</li><li>• <b>ข้อจำกัด:</b> มีโอกาสบิดตัว</li><li>• <b>เหมาะสำหรับ:</b> ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ปริมาตรการวัดมหาศาล รับน้ำหนักได้มาก</li><li>• <b>ข้อจำกัด:</b> ใช้พื้นที่เยอะ ราคาสูง</li><li>• <b>เหมาะสำหรับ:</b> อากาศยาน, พลังงาน</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• คล่องตัวสูง วัดที่ Shop Floor ได้ทันที</li><li>• <b>ข้อจำกัด:</b> ความแม่นยำขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน</li><li>• <b>เหมาะสำหรับ:</b> วิศวกรรมย้อนรอย, วัดหน้างาน</li></ul>

# ระบบเซนเซอร์: ประเภทสัมผัสของการวัด

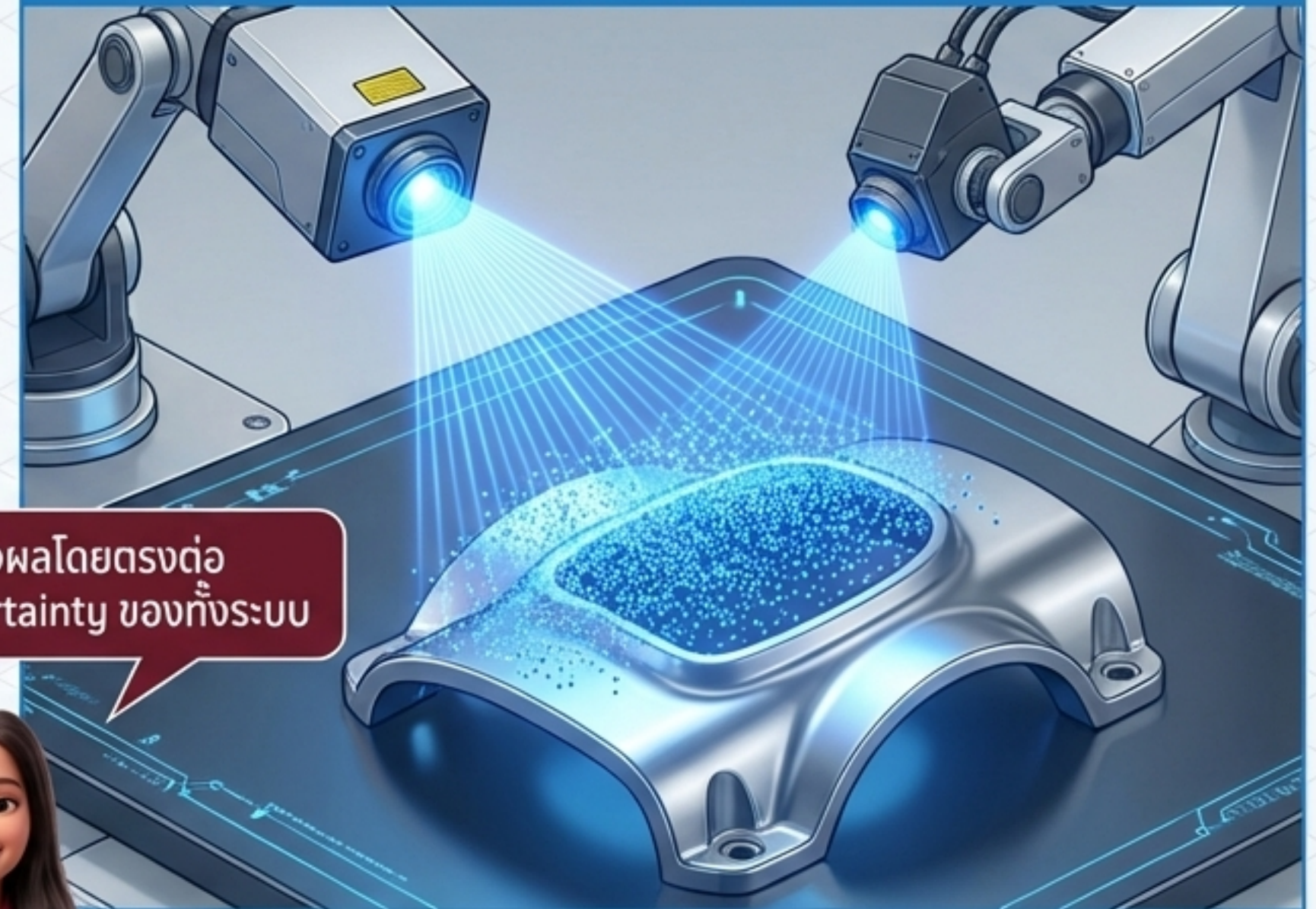
## ระบบแบบสัมผัส (Tactile Probing)



การเลือกหัววัดส่งผลโดยตรงต่อ Measurement Uncertainty ของทั้งระบบ

- Touch-trigger (วัดทีละจุด) & Scanning (เก็บข้อมูลต่อเนื่อง)
- ความแม่นยำสูง ไม่ถูกรบกวนจากสีหรือความโปร่งแสง
- มีการชดเชยรีตมีหัววัดและคำนวณการยุบตัว (Hertz Deformation)

## ระบบแบบไม่สัมผัส (Non-Contact Sensing)

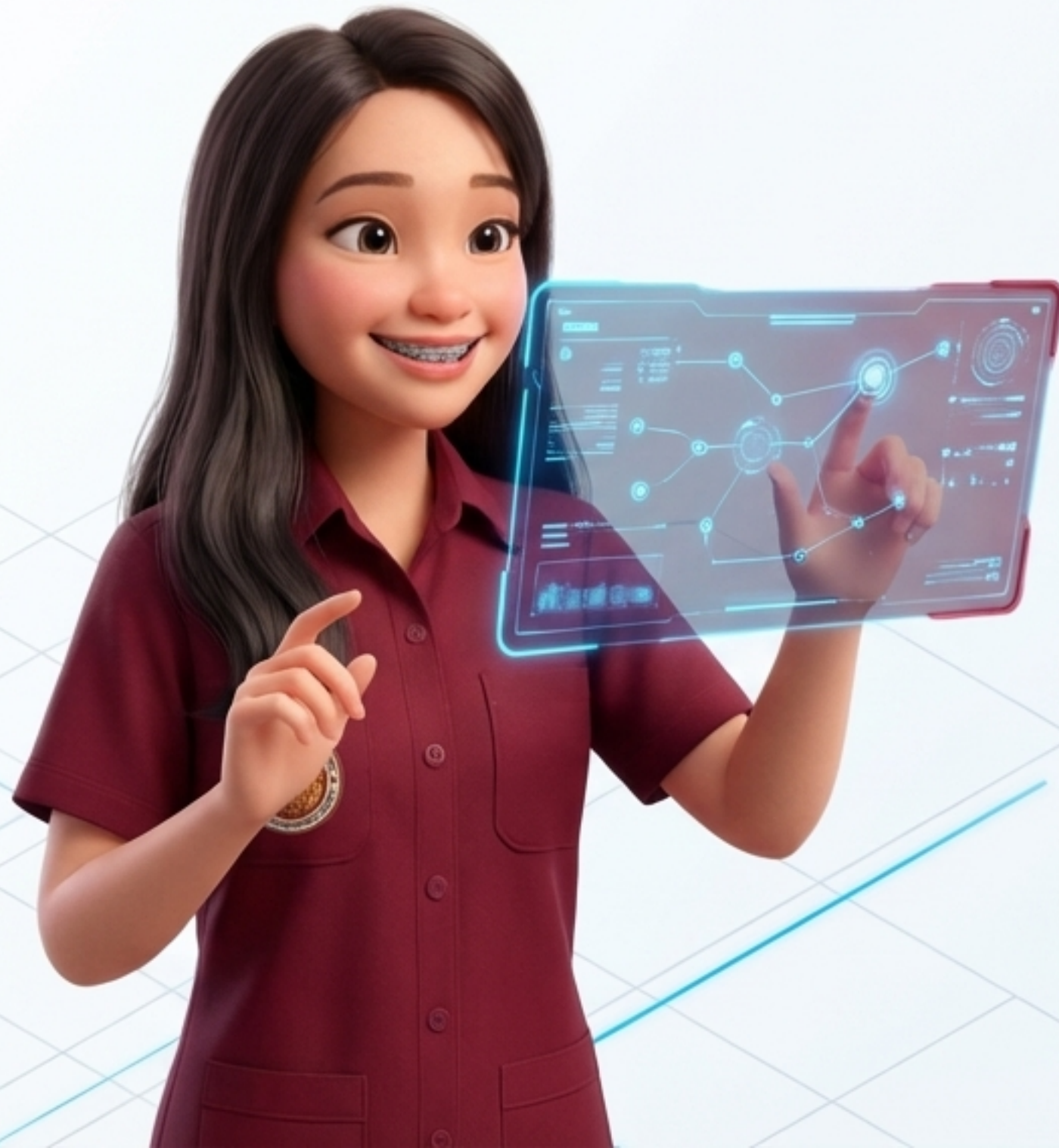


การเลือกหัววัดส่งผลโดยตรงต่อ Measurement Uncertainty ของทั้งระบบ

- Laser & Structured Light
- ความเร็วสูงลิ่ว เหมาะสำหรับวัสดุที่อ่อนนุ่มหรือเสียรูปง่าย
- อาจไวต่อพื้นผิวที่มีความมันวาวหรือโปร่งแสง



# มุมมองของมาตรวิทยา: ระบบซอฟต์แวร์จัดการข้อมูล



## PC-DMIS (Hexagon)

มาตรฐานระดับโลก ยืดหยุ่นสูง  
รองรับการเขียนสคริปต์ขั้นสูง  
และระบบ AI อัตโนมัติ

## ZEISS Calypso

โดดเด่นด้าน Feature-based  
Programming (Visual Tree)  
ช่วยผู้เริ่มต้นเรียนรู้รวดเร็วและ  
ลดข้อผิดพลาดด้าน GD&T

## PolyWorks Inspector

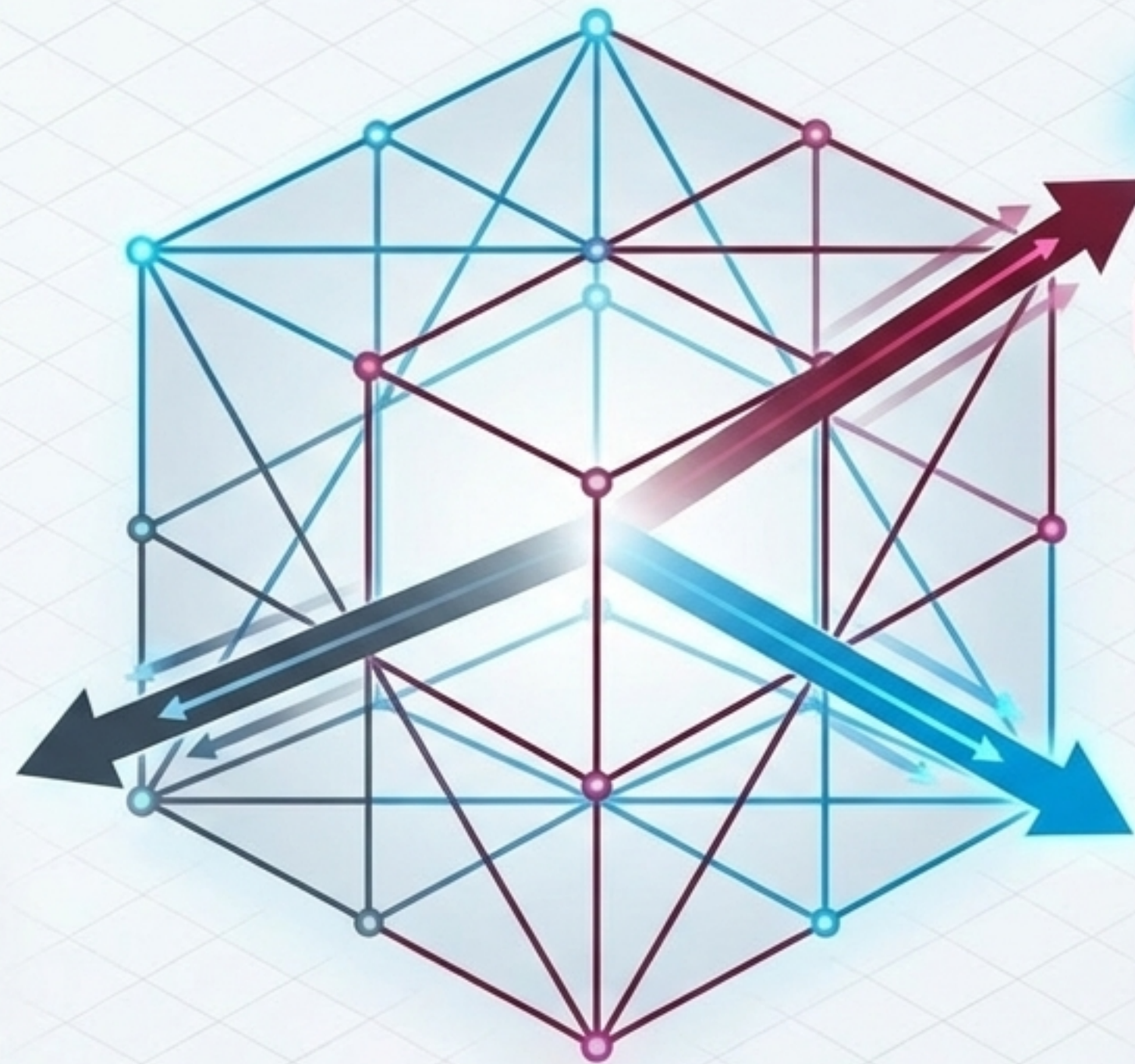
ทรงพลังในการจัดการข้อมูล  
ขนาดใหญ่ (Big Data) จาก  
Point Cloud เหมาะสำหรับ  
สแกนเนอร์และวิศวกรรมย้อน  
รอย

## MODUS & Metrolog X4

MODUS เน้นฮาร์ดแวร์สแกน 5  
แกน / Metrolog X4 นิยมใช้เพื่อ  
อัปเกรดเครื่องรุ่นเก่า (Retrofit)



# มาตรฐาน ISO 10360: กฎเกณฑ์ระดับโลกแห่งความแม่นยำ



$$E = E_0 + L/K$$

## Volumetric Length

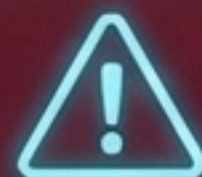
การวัดขอบลึก 5 ขนาด  
ใน 7 ตำแหน่ง/ทิศทาง  
ทั่วพื้นที่การวัด

## Volumetric Probing

การวัดทรงกลมมาตรฐาน  
(Precision Sphere) 25 จุด  
หาความเบี่ยงเบนของรัศมีหัววัด

## Volumetric Scanning

ทดสอบประสิทธิภาพและความ  
เที่ยงตรงขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง



สติกเกอร์สอบเทียบเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ  
ต้องป้องกันการเลื่อนไหลของค่า (Drift)



# ภัยเงียบจากอุณหภูมิ: เมื่อสภาพแวดล้อมทำลายความแม่นยำ

Core Concept Box

อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐานสากลคือ  $20^{\circ}\text{C}$   
การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนระดับไมโครเมตร

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

$20^{\circ}\text{C}$

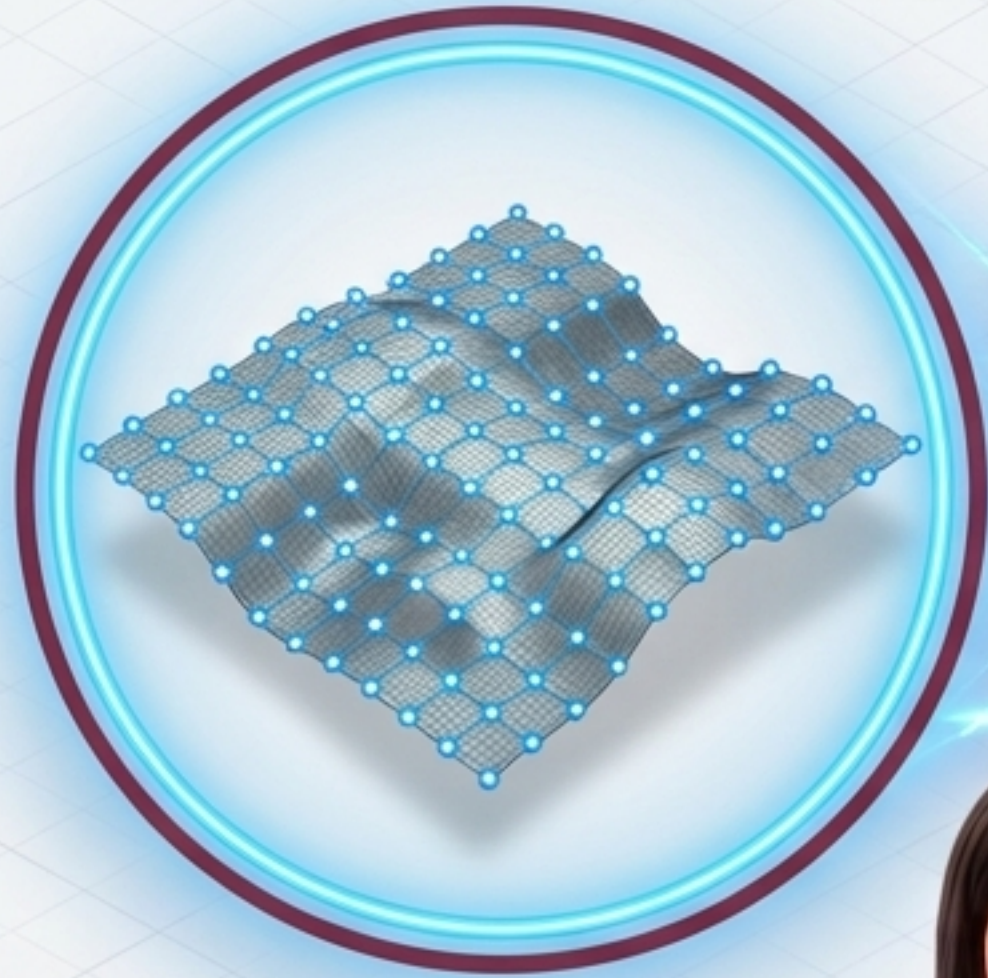


$23^{\circ}\text{C}$



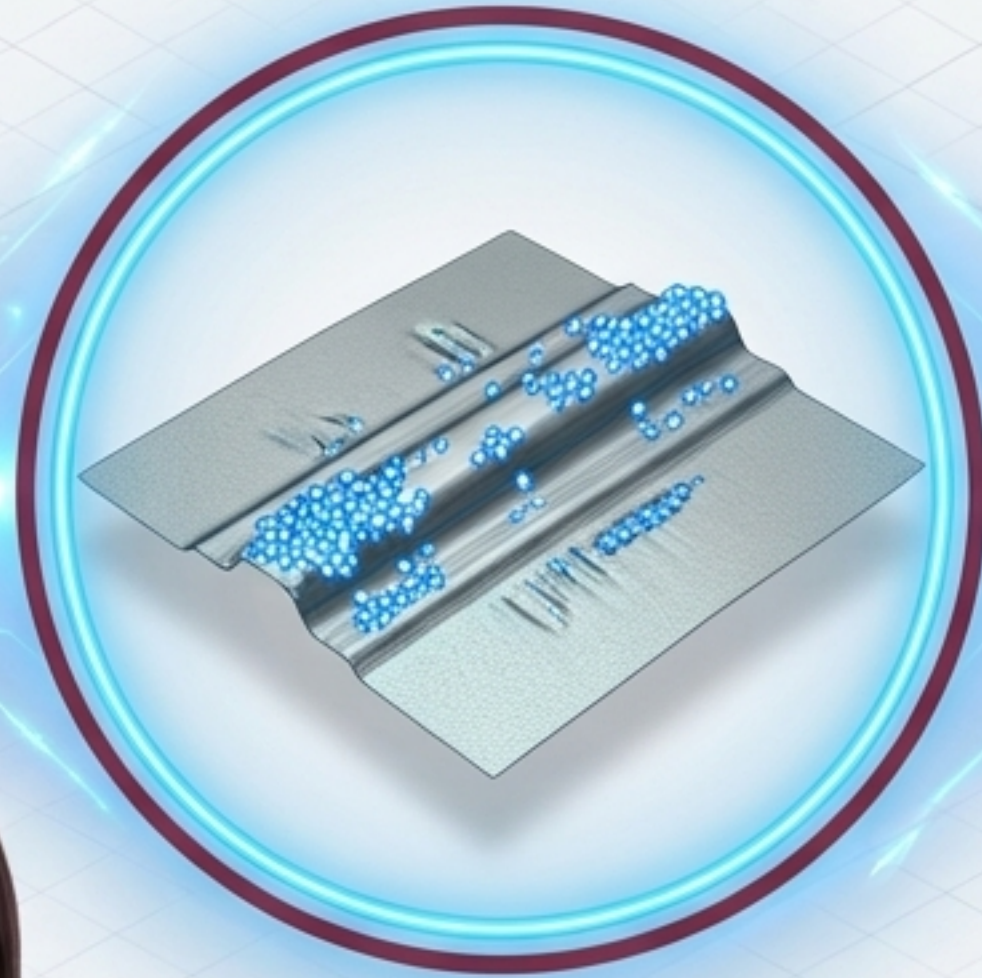
ใช้ระบบชดเชย  
อุณหภูมิอัตโนมัติ

# กลยุทธ์การสุ่มตัวอย่างอย่างอัจฉริยะ (Smart Sampling Strategies)



## Blind Sampling

การวัดแบบกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวทั้งหมด



## Process Fingerprinting

การเลือกวัดเฉพาะจุดที่มักเกิด  
ความผิดปกติจากกระบวนการผลิต



## Adaptive Sampling

ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น  
แล้วเพิ่มจุดวัดอัตโนมัติบริเวณที่ความโค้งสูง



# โครงสร้างพื้นฐานด้านมาตรวิทยาอุตสาหกรรมในประเทศไทย

## สถาบันไทย-เยอรมัน (TGI)

ศูนย์บริการตรวจวัดชิ้นงานความแม่นยำสูง  
(0.001 มม.) และสอบเทียบเครื่องจักร

## สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT)

รักษามาตรฐานแห่งชาติและสอบกลับได้สู่  
ระบบ SI Units (Traceability)

## มหาวิทยาลัยและหน่วยงานวิจัย

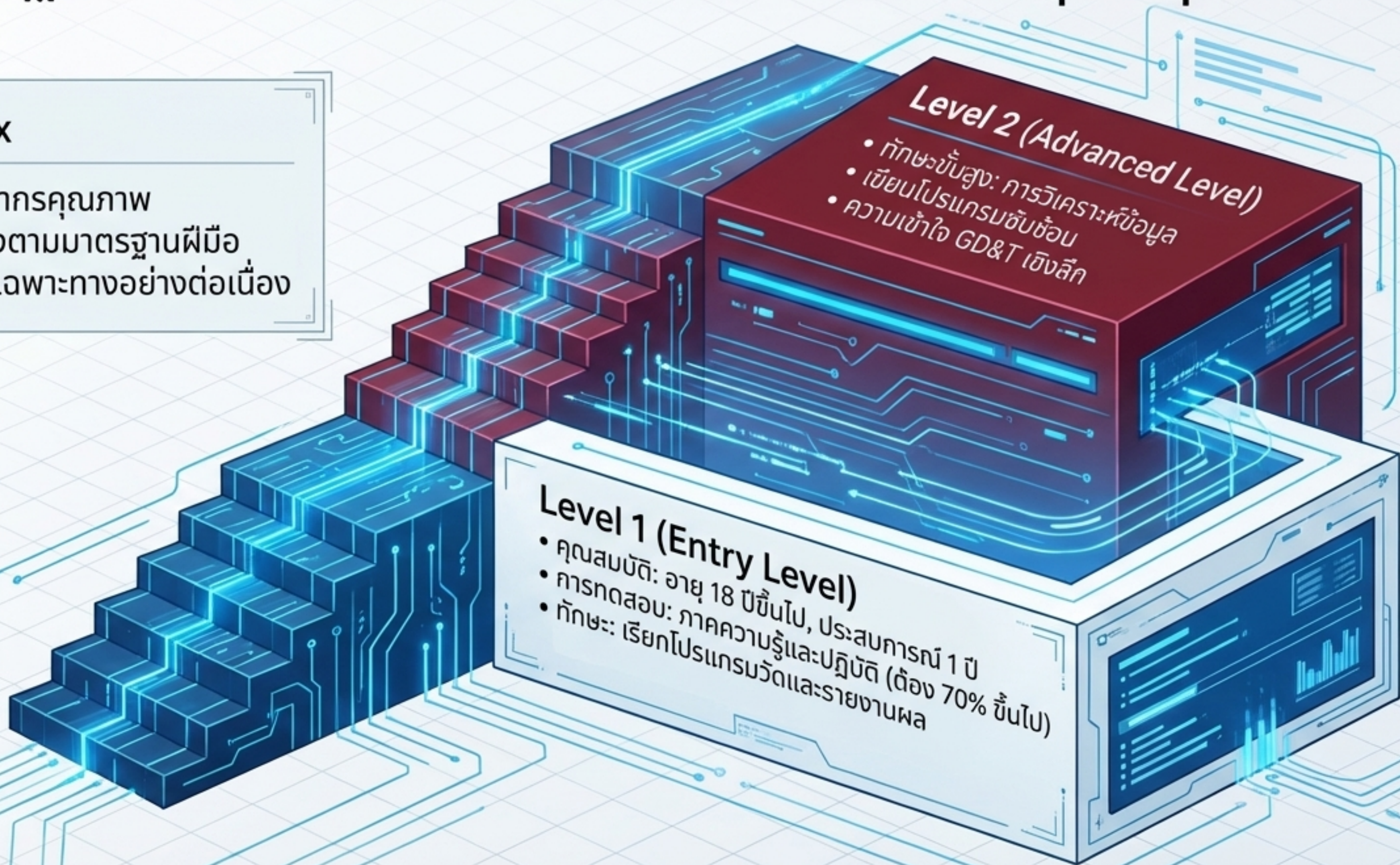
ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน  
ISO/IEC 17025



# มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ: การยกระดับทุนมนุษย์

## Benefit Box

นายจ้างได้บุคลากรคุณภาพ  
ลูกจ้างได้ค่าจ้างตามมาตรฐานฝีมือ  
มีการฝึกอบรมเฉพาะทางอย่างต่อเนื่อง



# อนาคตแห่งอุตสาหกรรม 4.0: นวัตกรรม 5 แกน และปัญญาประดิษฐ์

ตลาดมาตรวิทยาโลกมุ่งสู่มูลค่า 18,409 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2032 (CAGR 6.3%)



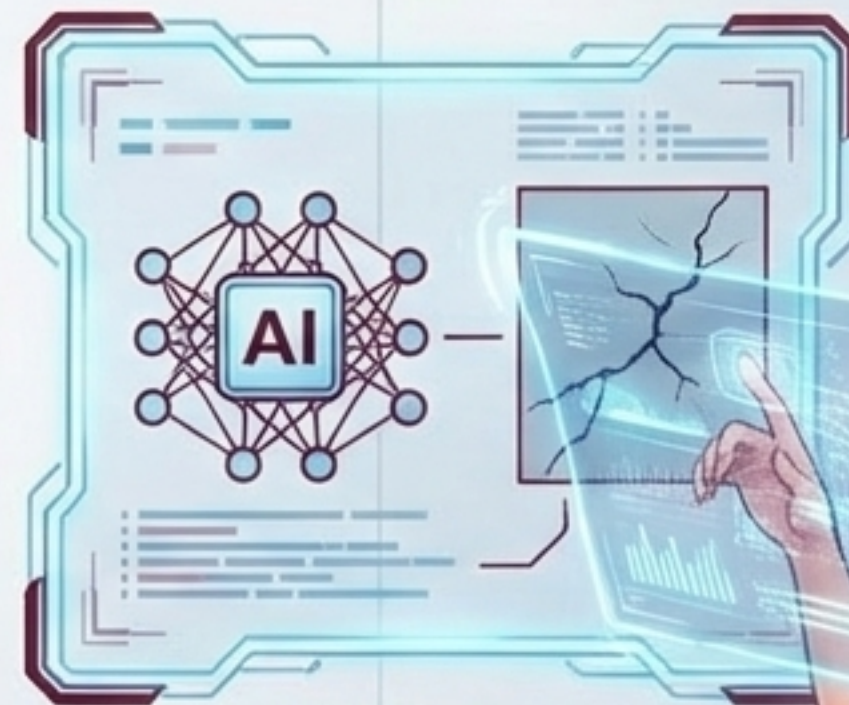
## 5-Axis Metrology

หัววัดหมุนอิสระ 5 แกน  
ลดภาระของโครงสร้าง  
เพิ่มความเร็วสแกนแบบก้าวกระโดดโดยไม่เสียความแม่นยำ



## Autonomous & No-code

แพลตฟอร์มคลาวด์ที่สร้าง  
โปรแกรมการวัดได้เองโดย  
ไม่ต้องเขียนโค้ด



## Real-time AI Detection

เชื่อมข้อมูลสู่ MES/ERP  
ทันทีเพื่อปรับแก้กระบวนการ  
และใช้โครงข่ายประสาทเทียม  
ตรวจสอบอย่างรวดเร็ว



# ปรีศนาแห่งความแม่นยำ: ระบบนิเวศที่บูรณาการเป็นหนึ่งเดียว

ฮาร์ดแวร์ที่เหมาะสม

สมองกลซอฟต์แวร์

การควบคุมสภาพแวดล้อม

บุคลากรที่ได้มาตรฐาน



“ความสำเร็จในยุค 4.0 ไม่ได้เกิดจากความละเอียดของตัวเครื่องจักรเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการบูรณาการระบบทั้งหมดเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์แบบ