

# การวัดความผิดพลาดกำลังขยายของ เครื่องวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรม

## (Magnification Measurement Error of Profile Projector)

พิธี หอมเย

นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

กองความสามารถห้องปฏิบัติการและรับรองผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันงานวิจัยทางวิศวกรรมวัสดุได้มีการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น โลหะผสม พลาสติก ยาง โพลีเมอร์ เพื่อเป็นทางเลือกแก่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปใช้สร้างผลิตภัณฑ์ นวัตกรรมใหม่ๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือสื่อสาร นาฬิกา ยานยนต์ และอากาศยาน เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องมีวัดขนาดรูปทรง (Dimensions) ได้แก่ ความยาว ส่วนโค้ง เส้นผ่านศูนย์กลาง รันาบ และมุม เพื่อพิสูจน์ว่ามีขนาดเป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐานการผลิตหรือเกณฑ์การผลิตของโรงงาน

### การวัดและการทดสอบขนาดของชิ้นงานอุตสาหกรรม

การวัดขนาดรูปทรงของชิ้นงานเพื่อบอกค่าของชิ้นงานในภาคอุตสาหกรรม มีการเลือกใช้วิธีการวัดตามวิธีมาตรฐานหรือวิธีที่พัฒนาขึ้นมาเองโดยมีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีแล้ว และเลือกใช้เครื่องมือวัดสอดคล้องกับวิธีมาตรฐานหรือเหมาะสมกับชิ้นงาน รายการมิติที่ต้องการวัด เช่น การวัดความสูงของชิ้นงานเครื่องมือที่ใช้วัดต้องสามารถปรับตั้งแนวการวัดของเครื่องให้ขนานกับชิ้นงานตามแนวตั้งเพื่อบอกค่าความสูงของชิ้นงาน การวัดส่วนโค้งของชิ้นงานเครื่องมือที่ใช้วัดจะต้องสามารถแสดงส่วนโค้งของชิ้นงานเพื่อกำหนดตำแหน่งการวัดได้

การวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมนั้นมีระบบการวัดอยู่สองลักษณะ คือ 1) การวัดสัมผัส (contact measurement) และ 2) การวัดแบบไม่สัมผัส (Non-contact Measurement)

1. การวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบสัมผัส (Contact Measurement)

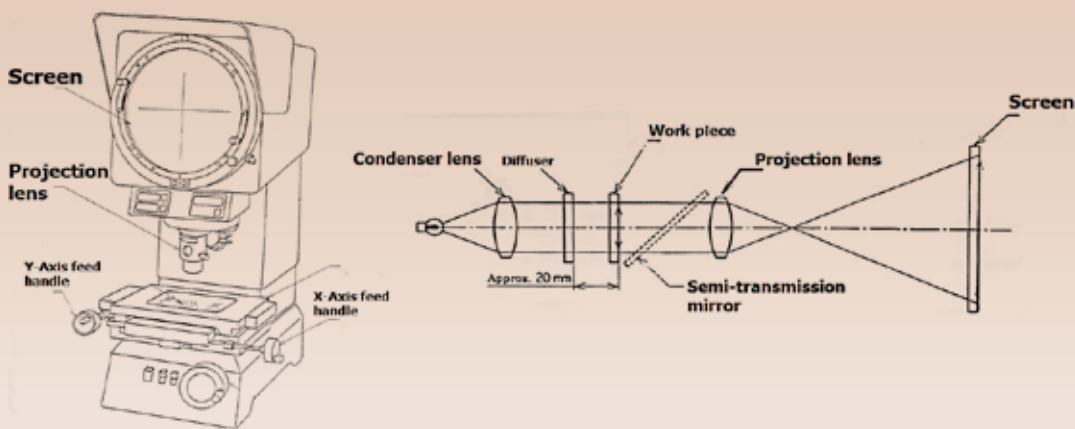
การวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบสัมผัส เป็นการวัดโดยที่ตำแหน่งสัมผัสชิ้นงานของเครื่องมือวัดสัมผัสกับผิวระนาบ หรือขอบชิ้นงานโดยตรง ทำให้การวัดมีความถูกต้องและแม่นยำ เช่น การวัดชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเครื่อง Co-ordinate Measuring Machine (CMM) การวัดความหนาเหรียญกษาปณ์ด้วย Micrometer ข้อเสียของวิธีการวัดแบบสัมผัส เครื่องมือสัมผัสกับชิ้นงานโดยตรงอาจทำให้ชิ้นงานหรือเครื่องมือวัดเกิดความเสียหาย เช่น การวัด Roughness ของผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Roughness Tester โดยใช้หัววัด (Stylus) ลากบนผิวชิ้นงานเพื่อวัดรูปร่างชิ้นงาน ถ้าชิ้นไม่เรียบหรือมีรอยขีดข่วนอาจทำให้หัววัดเกิดความเสียหายได้

2. การวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบไม่สัมผัส (Non-contact Measurement)

การวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบไม่สัมผัสเหมาะสำหรับชิ้นงานที่เครื่องมือวัดไม่สามารถสัมผัสถึงส่วนที่ต้องการวัด หรือชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายเมื่อมีการสัมผัส เช่น ชิ้นส่วนนาฬิกา ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยาง เครื่องมือวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบไม่สัมผัสที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็น เครื่องมือวัดทางแสง เช่น กล้องจุลทรรศน์แบบวัดความยาว (Measuring Microscope) เครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile Projector) ซึ่งเครื่องมือทั้งสองมีหลักการทำงานที่คล้ายกันคือ ใช้แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงและเลนส์ช่วยในการฉายภาพของชิ้นงาน และสิ่งแตกต่างคือ Measuring Microscope จะสะท้อนภาพวัตถุผ่านเลนส์ไปยังตาผู้ปฏิบัติงานที่มองภาพผ่าน Eyepiece ซึ่งภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพเสมือน แต่ Profile Projector จะสะท้อนเงาภาพวัตถุผ่านเลนส์ไปฉากรับภาพ

สำหรับบทความนี้แนะนำ เครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ ที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือวัดขนาดของชิ้นงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง และสามารถปรับกำลังขยายได้หลายระดับ เครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพจึงได้รับความนิยมมากสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ หรือแผนกควบคุมคุณภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

การทำงานของเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile Projector) ใช้หลักการการสะท้อน และการหักเหของแสง ด้วยระบบแสงส่องไปยังชิ้นงานและผ่านชุดเลนส์กำลังขยาย เกิดเป็นภาพเงาที่หลังเลนส์ซึ่งมีกระจกเงารองรับ และสะท้อนเข้าสู่ฉากรับภาพ โดยแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ของเครื่องจะถูกฉายผ่านตัววัตถุหรือชิ้นงาน เข้าสู่ระบบเลนส์นูน (Condenser lens) และเกิดเป็นภาพเงาที่หลังเลนส์ซึ่งมีกระจกเงา (Semi-transmission Mirror) ล่องรับ เข้าสู่เลนส์ขยายภาพ (Projection Lens) และฉายไปยังฉากรับภาพ (Screen) ในลักษณะของภาพจริงหัวกลับที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ และสามารถวัดขนาดของชิ้นงานโดยเลื่อนแท่นวางชิ้น (Precise cross moving table) ตามแนวแกน X หรือ แกน Y



รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile projector)

เครื่องมือวัดขนาดแบบฉายภาพที่ใช้วัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องสอบเทียบเพื่อให้การวัดขนาดชิ้นงานมีความถูกต้อง และสามารถสอบกลับได้ของผลการวัดไปยังหน่วยวัดสากล (SI Unit) วิธีการสอบเทียบเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ ตามมาตรฐาน JIS B 7184 : 1999 กำหนดให้มีการสอบเทียบตามขั้นดังต่อไปนี้

- สอบเทียบความถูกต้องระยะสเกลของแกน X และแกน Y
- สอบเทียบความฉากระหว่างแกน X และแกน Y
- การวัดความผิดพลาดกำลังขยาย

### การวัดความผิดพลาดกำลังขยายของเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile projector)

กำลังขยายเป็นหัวใจสำคัญของการวัดขนาดของชิ้นงาน และการสอบเทียบเครื่องมือวัดขนาดแบบฉายภาพ เพราะทั้งสองต้องอาศัยการขยายในการมองเพื่อวัดและสอบเทียบ หากกำลังขยายไม่สามารถขยายภาพได้ชัดเจนการวัดขนาดชิ้นงานและการสอบเทียบ อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการวัดและการสอบเทียบ

การวัดความผิดพลาดกำลังขยายของเครื่องวัดขนาดชิ้นงานอุตสาหกรรมแบบฉายภาพสามารถทำได้โดยวิธีการวัดกำลังขยายของเครื่องฯ (M) เทียบกับกำลังขยายที่ระบุของเครื่องฯ (M<sub>N</sub>) กำลังขยาย หมายถึง อัตราส่วนของขนาดภาพต่อขนาดวัตถุ สามารถเขียนในรูปแบบของสมการดังนี้

$$M = \frac{I}{O}$$

เมื่อ M คือ กำลังขยาย, I คือ ขนาดภาพ, O คือ ขนาดวัตถุ



## สรุปสาระ:

ความผิดพลาดกำลังขยาย หมายถึง ร้อยละของกำลังขยายที่วัดได้ต่อกำลังขยายระบุ สามารถเขียนในรูปแบบของสมการดังนี้

$$\Delta M = \left( \frac{M}{M_N} - 1 \right) \times 100\%$$

เมื่อ  $\Delta M$  คือ ความผิดพลาดกำลังขยาย,  $M$  คือ กำลังขยายที่วัดได้,  $M_N$  คือ กำลังขยายระบุ

### หลักการวัดกำลังขยาย

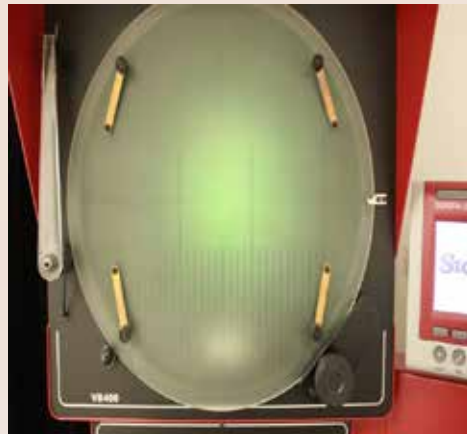
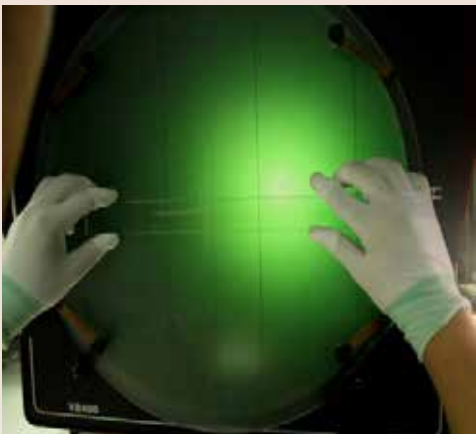
การวัดกำลังขยายใช้หลักการ เครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile projector) วัด Standard scale ที่ทราบระยะสเกล โดยเครื่องจะฉายภาพระยะสเกลบนฉากรับภาพ และใช้ Reading scale วัดขนาดภาพระยะสเกลบนฉากรับภาพ ตัวอย่างเช่นที่กำลังขยายระบุเครื่อง 50 เท่า เครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile projector) ฉายภาพระยะสเกลขนาด 4 mm ขยายและแสดงบนฉากรับภาพ ใช้ Reading scale ทาบวัดขนาดภาพ ที่แสดงบนฉากรับภาพเท่ากับ 200 mm คำนวณกำลังขยายได้ดังนี้

Standard scale ที่ระยะ 4 mm มีค่าปรับแก้ที่ได้จากการสอบเทียบเท่ากับ 0.0001 mm ทำการปรับแก้ค่าเท่ากับ  $4 + 0.0001 = 4.0001$  mm

Reading scale ที่ระยะ 200 mm มีค่าปรับแก้ที่ได้จากการสอบเทียบเท่ากับ 0.0013 mm ทำการปรับแก้ค่าเท่ากับ  $200 + 0.0013 = 200.0013$  mm

$$\text{ดังนั้น กำลังขยาย (M)} = \frac{200.0013 \text{ mm}}{4.001} = 49.9991$$

$$\text{และ ความผิดพลาดกำลังขยาย } \Delta M = \left( \frac{49.9991}{50} - 1 \right) \times 100\%$$



รูปที่ 2 การวัดกำลังขยายของเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile projector)

### การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดความผิดพลาดกำลังขยายเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ

การวัดความผิดพลาดกำลังขยายของเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ มีความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้นจากหลายปัจจัยที่ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน ได้แก่ ความแปรปรวนของสภาวะขณะทำการวัด ความแม่นยำของ Standard scale Reading scale ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดซ้ำ การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดความผิดพลาดกำลังขยายเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพประเมินตามแนวทางของ Uncertainty Evaluation of Calibration of the Optical Projector (เอกสารอ้างอิง 1)

ตารางประมวลความไม่แน่นอนของการวัดความผิดพลาดกำลังขยายเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ									
Smbol	Source of Uncertainty	Values	Probability Distribution	Smbol	Std. Uncertainty	$C_i$	Absolute	Relative $\pm$ (%)	
$U_{\Delta L}$	Standard measurement uncertainty (m)	0.0000	t-distribution	1	0.0000	0.005	$m^{-1}$	0.000000	0.0000
$U_{L1}$	Uncertainty of Standard scale (m)	0.000005	normal	2	0.000025	$2.5 \times 10^{-5}$	$m^{-1}$	$-6.3 \times 10^{-8}$	$-6.3 \times 10^{-6}$
$U_{L2}$	Uncertainty of Reading scale (m)	0.000025	normal	2	0.0000125	0.005	$m^{-1}$		
$U_{\Delta T1}$	Uncertainty of difference temperature between Std. scale and temperature 20 °C	2	Rectangular		1.1547	$8.5 \times 10^{-8}$	$^{\circ}C^{-1}$	$9.8 \times 10^{-6}$	$9.8 \times 10^{-4}$
$U_{\Delta T2}$	Uncertainty of difference temperature between Reading scale and temperature 20 °C		Rectangular		1.1547	$8.5 \times 10^{-6}$	$^{\circ}C^{-1}$	$9.8 \times 10^{-6}$	$9.8 \times 10^{-4}$
$\alpha_1$	Uncertainty of Thermal expansion coefficient of standard scale $^{\circ}C^{-1}$		Rectangular		$4.9 \times 10^{-6}$	1.99993	$^{\circ}C$	$9.8 \times 10^{-6}$	$9.8 \times 10^{-4}$
$\alpha_2$	Uncertainty of Thermal expansion coefficient of reading scale $^{\circ}C^{-1}$		Rectangular		$4.9 \times 10^{-6}$	1.99993	$^{\circ}C$	$9.8 \times 10^{-6}$	$9.8 \times 10^{-4}$
$U_C$	Combined Uncertainty								0.0017
$U_{95\%}$	Expansion uncertainty					k=2			$\pm 0.0034\%$

สรุป

การวัดและการทดสอบขนาดของชิ้นงานอุตสาหกรรมด้วยเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ (Profile Projector) ต้องอาศัยกำลังขยายของเครื่องฯ เพื่อขยายตำแหน่งของชิ้นงานที่ต้องต้องการวัดให้เห็นชัดทำให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดความผิดพลาดกำลังขยายพร้อมประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพมีค่าความผิดพลาดกำลังขยายรวมกับค่าความไม่แน่นอนในการวัดแล้วอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับได้ ซึ่งเกณฑ์การยอมรับได้ของความผิดพลาดกำลังขยายเครื่องวัดขนาดแบบฉายภาพ ตามมาตรฐาน JIS B 7184 : 1999 อยู่ในช่วง  $\pm 0.25\%$

เอกสารอ้างอิง

[1] FANG, Cheng-Yen, LUI, Kam-Wa, CHANG, Kuo-Ming and AMERICAN SOCIETY FOR PRECISION ENGINEERING. Uncertainty Evaluation of Calibration of the Optical Projector. In: Proceedings of the annual meeting - American Society for Precision Engineering. Arlington, VA: ASPE, 2001, p. 365–368.

[2] UNITED KINGDOM ACCREDITATION SERVICE. M3003 The expression of uncertainty and confidence in measurement. 3rd. Middlesex: UKAS, November 2012.

[3] JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. JIS B 7184: 1999, Profile projectors. Tokyo: JSA, 2002.

