

ในเชิงมาตรวิทยา (Metrology) การประเมินสมรรถนะของตู้อบ/ตู้สภาวะแวดล้อมถือเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างความสอดคล้องได้ทางมาตรวิทยา (Metrological Traceability) ทั้ง **ASTM E145** และ **IEC 60068** เป็นมาตรฐานระดับสากลที่ถูกใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการทวนสอบ (Verification) และการสอบเทียบ (Calibration) แต่มีปรัชญา ข้อกำหนด และวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

1. มาตรฐาน ASTM E145

(Standard Specification for Gravity-Convection and Forced-Ventilation Ovens)

ASTM E145 เน้นการข้อกำหนดคุณลักษณะและประสิทธิภาพของ **ตู้อบแห้งหรือตู้อบความร้อนในห้องปฏิบัติการทั่วไป (General-Purpose Air Ovens)** ที่มีความจุไม่เกิน 0.6 m^3 (25 ft^3)

การแบ่งประเภทของตู้ (Classification)

มาตรฐานแบ่งตู้ตามลักษณะการพาความร้อน (Convection Type) และระดับความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ:

ประเภทตู้ (Type)	ระบบการพาความร้อน	ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ (Uniformity Tolerance)
Type IA	ธรรมชาติ (Gravity Convection)	$\leq 2\%$ ของผลต่างอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิห้อง (ΔT)
Type IB	ธรรมชาติ (Gravity Convection)	$\leq 5\%$ ของผลต่างอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิห้อง (ΔT)
Type IIA	บังคับ (Forced Ventilation)	$\leq 1\%$ ของผลต่างอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิห้อง (ΔT)
Type IIB	บังคับ (Forced Ventilation)	$\leq 2.5\%$ ของผลต่างอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิห้อง (ΔT)

พารามิเตอร์ทางมาตรวิทยาที่สำคัญใน ASTM E145

1. Temperature Uniformity & Space Distribution:

- กำหนดให้ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (เช่น Thermocouples) จำนวน **9 จุด** ในพื้นที่ทำงานของตู้ (8 จุดที่มุม และ 1 จุดที่ศูนย์กลางเรขาคณิต)
- วัดที่สภาวะสมดุล (Steady State) ต่อเนื่องอย่างน้อย **24 ชั่วโมง**

2. Time Constant (ค่าคงตัวเวลา):

- บันทึกการตอบสนองเชิงความร้อนโดยใช้ก้อนทรงกระบอกทองเหลืองมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 mm ยาว 57 mm เพื่อประเมินอัตราการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน

3. Rate of Ventilation (อัตราการระบายอากาศ):

- คำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air Changes per Hour) โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ตู้ใช้ในสภาวะเปิดและปิดช่องระบายอากาศ

2. มาตรฐาน IEC 60068 Series

(Environmental Testing for Electrical and Electronic Products)

IEC 60068 เป็นชุดมาตรฐานสำหรับการทดสอบความน่าเชื่อถือทางสภาวะแวดล้อมของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีโครงสร้างแบ่งออกเป็นหลายส่วน ซึ่งส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับทางมาตรวิทยาของห้องอบ/ห้องจำลองสภาวะคือ **IEC 60068-3 Series**:

- **IEC 60068-3-5**: การยืนยันประสิทธิภาพของตู้ทดสอบอุณหภูมิ (Temperature Chambers)
- **IEC 60068-3-6**: การยืนยันประสิทธิภาพของตู้ทดสอบอุณหภูมิและความชื้น (Temperature/Humidity Chambers)
- **IEC 60068-3-7**: ข้อเสนอแนะการวัดอุณหภูมิสำหรับตู้ทดสอบที่มีชิ้นงานทดสอบแบบมีการปลดปล่อยความร้อน (Load Testing)

พารามิเตอร์ทางมาตรวิทยาที่สำคัญตาม IEC 60068-3

1. Temperature / Humidity Uniformity (u_T, u_{RH}):

- ความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้นระหว่างจุดต่างๆ ในพื้นที่ทดสอบ (Working Space) ในเวลาเดียวกัน

2. Temperature / Humidity Fluctuation (f_T, f_{RH}):

- การเปลี่ยนแปลงหรือความผันผวนของอุณหภูมิ/ความชื้น ณ จุดใดจุดหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไป (Temporal Stability)

3. Temperature Gradient (G_T):

- ผลต่างสูงสุดของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุดใดๆ ในพื้นที่ทำงาน

4. Temperature Temperature Ramp Rate (Heating/Cooling Rate):

- อัตราการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิในตู้ทดสอบ โดยพิจารณาทั้งแบบ Average Rate และ Linear Rate (คิดช่วง 10% ถึง 90% ของช่วงอุณหภูมิ)

3. ตารางเปรียบเทียบเชิงวิเคราะห์ทางมาตรวิทยา (Comparative Metrological Analysis)

มิติทางมาตรวิทยา	ASTM E145	IEC 60068 (โดยเฉพาะ IEC 60068-3)
ขอบข่ายหลัก (Scope)	เน้นการกำหนดคุณลักษณะ เครื่องมือ (Specification for Laboratory Ovens)	เน้นกระบวนการทดสอบผลิตภัณฑ์และ การทวนสอบประสิทธิภาพตู้ทดสอบ (Testing & Chamber Verification)
ตัวแปรที่วัด (Parameters)	อุณหภูมิ, เวลาตอบสนองเชิง ความร้อน, และอัตราการ แลกเปลี่ยนอากาศ	อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, อัตราการทำ ความร้อน/ความเย็น, และสถานะตู้แบบมี โหลด
จุดวัดอุณหภูมิ มาตรฐาน	ตะแกรง 9 จุด (8 มุม + 1 ศูนย์กลาง)	9 จุด หรือ 15 จุด (ขึ้นอยู่กับขนาดปริมาตร ของตู้ว่าเล็กหรือใหญ่กว่า 2,000 L)
เงื่อนไขสถานะตู้	วัดที่สภาวะตู้เปล่า (Unloaded Chamber) เป็นหลัก	รองรับทั้งตู้เปล่า (Unloaded) และตู้ที่มี โหลดปลดปล่อยความร้อน (Loaded)
การประเมินค่าความ ไม่แน่นอน (Uncertainty)	เน้นใช้ผลต่างให้อยู่ในเกณฑ์ เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนที่ยอมรับได้	มุ่งเน้นการคำนวณงบประมาณความไม่ แน่นอน (Uncertainty Budget) ตาม หลัก GUM เช่น Spatial Gradient และ Temporal Fluctuation

4. มุมมองทางวิศวกรรมมาตรวิทยาและการสอบเทียบ (Calibration Practice)

จากประสบการณ์การสอบเทียบระบบจำลองสภาวะแวดล้อม:

1. การคำนวณการกระจายอุณหภูมิ (Spatial Variation):

- ในการสอบเทียบจริง การประเมินค่า **Uniformity** และ **Gradient** จะต้องจัดอิทธิพลของ
ความผันผวนตามเวลา (Temporal Variation) ออกก่อน โดยใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามเวลา
ของแต่ละจุดเซนเซอร์

2. ความสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (Traceability Chain):

- สายวัดความร้อน (Thermocouples) หรือ PRTs (Standard Platinum Resistance Thermometers) ที่นำมาใช้ทำการสำรวจสภาวะตัว (Temperature Mapping) จะต้องผ่านการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 โดยมีค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานตัวกำหนดอย่างน้อย 3 ถึง 4 เท่า ($TUR \geq 3:1$)

3. ข้อผิดพลาดที่พบบ่อย (Common Pitfalls):

- **Stem Conduction:** การนำความร้อนผ่านสายสัญญาณเซนเซอร์ หากจุ่มสายเซนเซอร์เข้าไปในตัวน้อยเกินไป (ASTM E145 แนะนำให้มีสายเซนเซอร์ยื่นออกผนังตัวไม่น้อยกว่า 30 cm ภายใต้นิพจน์ Thermal Conduction Error)
- **Radiation Effect:** ผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังตัวไปยังหัววัด ซึ่งอาจทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิอากาศจริง (Air Temperature)