Guidelines for testing
Vacuum oven

Draft of guidelines testing vacuum oven

TM/GT01/TT001/V01

September 2019

THERMOMETRY AND PROMETRY METROLOGY DEPARTMENT
NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY (THAILAND)

สารบัญ

ขอบข่าย 2

คำนิยาม 2

การตรวจสอบเบื้องต้น 3

การทดสอบ 4

การประเมินค่าความไม่แน่นอน 5

การรายงานผล 6

เอกสารอ้างอิง 6

ภาคผนวก ก 7

ภาคผนวก ข 9

Draft of guidelines testing vacuum oven

1. **วัตถุประสงค์**

1.1 เอกสารนี้เป็นแนวทางการทดสอบดังนั้น รายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้จึงไม่สามารถนำไปบังคับใช้เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติการ

1.2 เอกสารนี้เป็นแนวทางการทดสอบเพื่อใช้ทดสอบค่าความถูกต้องตัวแสดงผลอุณหภูมิของเตาอบสุญญากาศ (Vacuum Oven) รวมถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของเตาอบสุญญากาศ ให้เกิดความเข้าใจและนำไปปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้หรือประยุกต์ใช้ของห้องปฏิบัติการต่าง ๆ รวมถึงแนวทางในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

2. **ขอบข่าย**

เอกสารฉบับนี้ใช้เป็นแนวทางในทดสอบหาค่าความถูกต้องตัวแสดงผลอุณหภูมิของเตาอบสุญญากาศขณะที่ไม่มีโหลด พร้อมคุณสมบัติต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ทำการทดสอบบนถาดความร้อนของเตาอบสุญญากาศที่ช่วงอุณหภูมิ 20 °C ถึง 65 °C หลังจากที่อุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่ที่ช่วงความดัน 0 inHg ถึง -30 inHg พร้อมคุณสมบัติของเตาอบสุญญากาศในเอกสารนี้หมายถึง ความเสถียรเชิงเวลา (stability) ความสม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (uniformity) การแปรผันรวม (Overall variation)

3. **นิยาม**

3.1 **ความสม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (**Temperature Uniformity**) –** ผลต่างที่มีค่ามากที่สุดของการวัดอุณหภูมิบนถาดความร้อนที่หัววัดใด ๆ เมื่อเทียบกับหัววัดอ้างอิงในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันของการบันทึกผล หากเป็นไปได้ควรพิจารณารูปแบบของอุณหภูมิภายในเตาอบสุญญากาศอยู่ในสภาวะคงที่ โดยหัววัดอ้างอิงติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางบนถาดความร้อนของเตาอบสุญญากาศ

3.2 **ความเสถียรเชิงเวลา (**Temperature Stability**)** – ผลต่างที่มากที่สุดของการวัดอุณหภูมิบนถาดความร้อนที่หัววัดใดหัววัดหนึ่งเป็นเวลาไม่กว่าน้อย 30 นาที ภายหลังจากเครื่องมือเข้าสู่สภาวะคงที่หรือหลังจากครบรอบการควบคุมอย่างสมบูรณ์หรืออย่างใดอย่างหนึ่งมาก่อน การตรวจสอบเฉพาะของความเสถียรเชิงเวลาที่ตำแหน่งใด ๆ ภายในเตาอบสุญญากาศ ควรบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถกำหนดรูปแบบความเสถียรของอุณหภูมิในเตาอบสุญญากาศ ภายใต้สภาวะคงที่ของเครื่องมือ

3.3 **การแปรผันรวม (Overall Variation) –** ผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่มากที่สุดเทียบกับอุณหภูมิที่น้อยที่สุดของหัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ บนถาดความร้อนตลอดช่วงเวลาของการทดสอบ

3.4 **อุณหภูมิที่แสดงผล (Indicating Temperature) –** ค่าเฉลี่ยจากการอ่านค่าของอุปกรณ์แสดงผลของเตาอบสุญญากาศ หากเตาอบสุญญากาศมีเพียงอุปกรณ์สำหรับการตั้งค่า สามารถนำมาพิจารณาว่าเป็นอุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิได้

3.5 **อุณหภูมิที่ถูกวัด (Measured Temperature) –** ค่าเฉลี่ยการอ่านของหัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ

3.6 **พื้นที่การใช้งาน (**Working space**)** –พื้นที่บนถาดความร้อนภายในเตาอบสุญญากาศซึ่งแวดล้อมด้วยหัววัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ การทดสอบจะยอมรับได้เฉพาะพื้นที่ทดสอบที่ครอบคลุมโดยหัววัดอุณหภูมิที่ถูกติดตั้งตามข้อกำหนดของแนวทางนี้

Draft of guidelines testing vacuum oven

3.7 **สภาวะคงที่ (**Steady State **) –** การทำงานของเครื่องมือวัดหรือระบบวัด ที่ทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้มาโดยการทดสอบยังคงใช้ได้อยู่แม้ว่าสิ่งที่เจตนาวัดจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.8 **ความผันผวน (**Fluctuation**) –** การเปลี่ยนแปลง (จากค่าเฉลี่ย) ของอุณหภูมิหลังจากเข้าสู่สภาวะคงที่ ณ จุดที่ระบุภายในพื้นที่ใช้งานในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถวัดได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือส่วนเบี่ยงเบนมากสุด

3.9 **หัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน** (Standard Sensor) **–** หัววัดอุณหภูมิแบบความต้านทานหรือเทอร์โมคับเปิลที่หุ้มด้วยวัสดุนำความร้อนผิวสัมผัสด้านหน้าเรียบสามารถสัมผัสกับถาดความร้อนของเตาอบสุญญากาศได้ดี

4. การตรวจสอบเบื้องต้น

- ก่อนเริ่มทดสอบควรตรวจสอบการปิดผนึกของฝาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามเงื่อนไข ข้อบกพร่องที่พบควรได้รับการบันทึกและประเมินเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเตาอบสุญญากาศ
- ตลอดระยะเวลาการทดสอบ อุณหภูมิโดยรอบภายนอกควรเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่เกิน 10 ° C รอบ ๆ ระยะห่างไม่เกิน 2 เมตร จากเตาอบสุญญากาศ ทำการบันทึกก่อนเริ่มตรวจสอบและหลังตรวจสอบ หากอุณหภูมิแตกต่างกันมากขึ้นมากกว่า 10 ° C ควรแน่ใจว่าการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิภายในเตาอบสุญญากาศ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเตาอบสุญญากาศควรมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากกว่า 10% หรือตามที่ระบุไว้เป็นอย่างอื่นจากผู้ผลิต
- ความพร้อมของระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่ถูกทดสอบซึ่งเป็นส่วนประกอบของเตาอบสุญญากาศ
- ความพร้อมของเอกสารทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับหัววัด ซึ่งเป็นข้อมูลประกอบเพิ่มเติม เช่น ตำแหน่งและข้อมูลเฉพาะของหัววัดอุณหภูมิ ลักษณะชนิดของฉนวนที่ทำให้อุณหภูมิมีความเสถียรเชิงเวลาตามที่ต้องการ
- ตัวแสดงผลค่าความดันภายในของเตาอบสุญญากาศต้องอยู่ในสภาวะที่ใช้งานได้
- ความสามารถในการรักษาค่าความดันภายในเตาอบสุญญากาศ
- ตรวจสอบระบบในการลดความดันภายในเตาอบสุญญากาศและตรวจสอบการรั่วของระบบที่อาจส่งผลต่อผลการทดสอบ กรณีที่ทำการทดสอบที่ค่าความดันต่ำกว่าความดันบรรยายกาศ

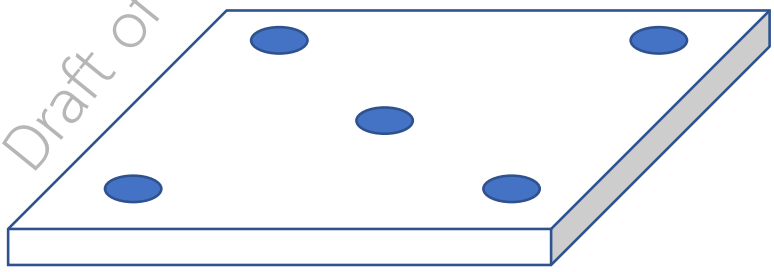
Draft of guidelines testing vacuum oven

5. การทดสอบ

ดำเนินการวัดค่าอุณหภูมิบนถาดให้ความร้อนภายในเตาอบสุญญากาศ เพื่อทราบค่าผิดพลาดของการแสดงผลค่าอุณหภูมิของเตาอบสุญญากาศ จำนวนหัววัดอุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า 5 หัววัด โดยตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่รูปที่ 1 การจัดเรียงหัววัดอุณหภูมิบนถาดความร้อนในพื้นที่ที่ทดสอบขณะที่หัววัดอุณหภูมิที่ใช้อ้างอิงถูกติดตั้งที่จุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ทดสอบ การทดสอบควรเริ่มจากการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบเป็นลำดับแรก จากนั้นทำการปรับความดันภายในตามที่ต้องการทดสอบ ก่อนบันทึกผลต้องมั่นใจว่าความอุณหภูมิอยู่สภาวะคงที่ หากลูกค้าต้องการให้ทดสอบที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็สามารถทำได้ แต่ต้องมั่นใจว่าพื้นที่ที่ทดสอบนั้นได้ถูกกำหนดตำแหน่งในการวัดของหัววัดอุณหภูมิตามข้อแนะนำนี้แล้ว ค่าที่เกินกว่าช่วงการใช้งานสำหรับเตาอบสุญญากาศจะเป็นทางเลือกที่นอกเหนือจากที่แนวทางนี้ได้แนะนำไว้

<u>หมายเหตุ</u> หลังจากปรับค่าความดันอุณหภูมิภายในจะมีการเปลี่ยนแปลง ควรรอให้อุณหภูมิในอยู่ในสภาวะคงที่ก่อนที่จะทำการบันทึกผล หากการทดสอบกระทำที่ค่าความดันไม่ได้ใช้งาน ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้อาจมีความแตกต่างเนื่องจากค่าความดันที่ไม่เท่ากัน

5.1 ตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิสำหรับการทดสอบจะขึ้นอยู่กับพื้นที่บนถาดความร้อนโดยกำหนดให้ติดตั้งที่ตำแหน่งมุมต่าง ๆ และกึ่งกลางของพื้นที่ทดสอบ หัววัดอุณหภูมิควรห่างจากผนังไม่น้อยกว่า 5 ซม. ขณะที่หัววัดอุณหภูมิอ้างอิงจะติดตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นที่ที่ทดสอบ กรณีถาดความร้อนมีขนาดใหญ่ ควรพิจารณาเพิ่มหัววัดอุณหภูมิในสัดส่วนเท่า ๆ กันพิจารณาจากระยะกึ่งกลางของความห่างระหว่างมุมต่าง ๆ



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิบนถาดความร้อน 5 หัววัด

5.2 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในเตาอบสุญญากาศ ควรติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิแกนกลาง (Core temperature) หรือตามที่ผู้ใช้งานกำหนด

5.3 ค่าความดันควรบันทึกผลจากตัวแสดงผลที่ติดตั้งมากับเตาอบสุญญากาศ

5.4 การทดสอบคุณสมบัติของเตาอบสุญญากาศ เช่น ความเสถียรเชิงเวลา (stability) ความสม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (uniformity) ควรกระทำในสภาวะไม่มีโหลด

Draft of guideline testing vacuum oven

5.5 ก่อนการบันทึกผล ต้องมั่นใจว่าค่าอุณหภูมิภายในเตาอบสุญญากาศอยู่ในสภาวะคงที่ ในกรณีที่ทดสอบที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ สภาวะคงที่ของอุณหภูมิภายในเตาอบสุญญากาศนั้น อาจต้องใช้เวลานานกว่าการทดสอบที่ความดันบรรยากาศ

5.6 ค่าความดันภายในเตาอบสุญญากาศอาจส่งผลกระทบกับค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากหัววัดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ กรณีที่ค่าความดันขณะตรวจสอบต่างจากค่าความดันที่ใช้งาน อาจทำให้ค่าอุณหภูมิภายในมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามหากต้องการทราบถึงผลกระทบดังกล่าว ควรทำการวัดอุณหภูมิที่สองความดันเพื่อพิจารณาผลกระทบกับค่าอุณหภูมิ

6. องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการทดสอบ

การทดสอบเตาอบสุญญากาศต้องพิจารณาพารามิเตอร์ที่ปรากฏไม่น้อยกว่านี้ ซึ่งทั้งหมดเป็นองค์ประกอบหลักของประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty Budget) โดยได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ก

- การกระจายของอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ที่กำหนด (Air temperature spatial distribution in the specified area)
- ความเสถียรเชิงเวลาของอุณหภูมิในชั่วขณะทำการวัด
- ความไม่แน่นอนอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ
- ผลกระทบของการแผ่รังสีที่สัมพันธ์กับสภาพการเปล่งรังสี (emissivity) ของหัววัดอุณหภูมิและขนาดของหัววัด (เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง > 4 mm., DKD-R-5-7 ข้อ 7.4) อาจมีสาเหตุจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันของผนังของเตาอบสุญญากาศและอากาศในเตาอบสุญญากาศ สภาพการเปล่งรังสีอาจไม่ส่งผลกระทบในกรณีที่ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิในตัวกลาง
- ความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของหัววัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่อติดตั้งในอากาศหรือในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในเตาอบสุญญากาศ รวมถึงระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะเสถียรของหัววัดที่ติดตั้งในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) จะใช้ระยะเวลานานกว่าการติดตั้งในอากาศ ดังนั้นจะต้องมั่นใจว่าการพิจารณาสภาวะคงที่ก่อนการบันทึกผลทำได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และไม่ส่งผลกระทบใด ๆต่อค่าความไม่แน่นอนในการทดสอบ
- อิทธิพลของการบรรจุโหลดที่มีผลต่อความสม่ำเสมอเชิงพื้นที่และความเสถียรเชิงเวลาของอุณหภูมิบนถาดความร้อน
- อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม
- ความละเอียดของตัวอ่าน
- ผลกระทบที่เกิดจากความดันภายในต่อค่าอุณหภูมมิขณะทดสอบ

<u>หมายเหตุ</u> ห้องปฏิบัติการที่ทดสอบต้องอธิบายถึงองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนจากพารามิเตอร์ดังปรากฏ ในบางกรณีการอ้างอิงมาตรฐานแห่งชาติอาจเติมเต็มข้อกำหนดเหล่านี้

Draft of guidelines testing Vacuum oven

7. การรายงานผลการทดสอบ

นอกเหนือจากรายละเอียดใบรายงานผลการทดสอบตามข้อกำหนดทั่วไปของ ISO/IEC 17025 ต้องประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ยของตัวแสดงผลของเตาอบสุญญากาศและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ตำแหน่งอ้างอิง
- รายละเอียดพารามิเตอร์การทำงานของเตาอบสุญญากาศระหว่างการตรวจสอบ (PID, อื่น ๆ)
- รายละเอียดพื้นที่ของการทดสอบ และระยะในการติดตั้งของหัววัดอุณหภูมิ (เช่น แสดงในรูปแบบแผนภาพ)
- กรณีที่การทดสอบกระทำโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิบนถาดความร้อนหรือในตัวกลาง (ของเหลว ของแข็ง) ภายในเตาอบสุญญากาศ ต้องมีการอธิบายรายละเอียดของตัวกลางให้ชัดเจน เช่น ชนิด ขนาด ตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในตัวกลาง
- ถ้าผลของการวัดอุณหภูมิถูกใช้เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์อื่น เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเชิงพื้นที่ หรือความเสถียรของอุณหภูมิเชิงเวลา นั้น จำเป็นต้องระบุพารามิเตอร์ดังกล่าวให้ชัดเจน รวมถึงวิธีการคำนวณพร้อมกับความไม่แน่นอนในการทดสอบ
- ค่าความดันของตัวแสดงผลที่ติดมาพร้อมกับเตาอบสุญญากาศ

8. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในเอกสารฉบับนี้ประกอบด้วย

- DAKK-R 5-7: Calibration of Climatic Chambers (2004) English Translation (2007)
- G-20-1/02-08(E): Guidelines for calibration and Checks of Temperature Controlled Enclosures.
- IEC 60068 series on environmental testing, in particular
  - IEC 60068-3-5 – Environmental Testing – Part 3-5: (2001)
    BS EN 60068 -3-5(2002) Confirmation of the Performance of Temperature Chambers.
  - IEC 60068-3-6 – Environmental Testing – Part 3-6: (2001)
    BS EN 60068 -3-6(2002) Confirmation of the Performance of Temperature/Humidity Chambers.
  - IEC 60068-3-7 – Environmental testing – Part 3-7: (2001)
    BS EN 60068 -3-7(2002) Measurements in Temperature Chambers for Tests A and B (with load)
  - IEC 60068-3-11 – Environmental Testing – Part 3-11: (2007) Calculation of Uncertainty of conditions in Climatic Test Chambers

Draft of guidelines testing vacuum oven

ภาคผนวก ก
ความไม่แน่นอนการวัด (Measurement uncertainty)

1. ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายใต้พื้นที่ ๆ ทำการทดสอบ (Temperature uniformity / inhomogeneity) ความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (inhomogeneity) เป็นการพิจารณาจากค่ามากที่สุดของผลต่างของอุณหภูมิที่มุมในตำแหน่งที่วัดตามลำดับกับตำแหน่งอ้างอิง (ส่วนใหญ่เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นที่ใช้งาน) โดยพิจารณาตามอุณหภูมิที่ตรวจสอบ การวัดความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ จึงถูกนำไปใช้เป็นการประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณาการกระจายตัวของความน่าจะเป็นเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. ความเสถียรของอุณหภูมิเชิงเวลา (temporal instability/stability)
ความไม่เสถียรของอุณหภูมิเชิงเวลาพิจารณาจากผลต่างที่มากที่สุดของการวัดอุณหภูมิที่หัววัดใดหัววัดหนึ่งเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหลังจากเครื่องมือมีสภาวะคงที่หรือหลังจากครบรอบการควบคุมอย่างสมบูรณ์ โดยสภาวะคงที่ถูกพิจารณาจากความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างเป็นระบบ

   สำหรับผลการวัดของความไม่สม่ำเสมอเชิงเวลาจะทำการบันทึกผลไม่น้อยกว่า 30 ครั้ง ภายในเวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งเวลาอาจแปรผันมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ ตำแหน่งในการวัดอยู่ที่กึ่งกลางของพื้นที่ตรวจสอบหรือตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับในแต่ละอุณหภูมิที่ทำการสอบ โดยพิจารณาการกระจายตัวของความน่าจะเป็นเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3. ผลกระทบของการแผ่รังสี
สามารถประมาณผลกระทบจากการแผ่รังสี พิจารณาได้จากอุณหภูมิของอากาศที่สามารถวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันรังสี (Radiation shield) สำหรับป้องกันอิทธิพลที่เกิดจากผนัง อุปกรณ์ป้องกันรังสีนี้จะต้องมีการระบายอากาศ หรือถูกเตรียม และออกแบบเพื่อยอมให้เทอร์โมมิเตอร์มีอากาศหมุนเวียนอย่างเพียงพอ เมื่อติดตั้งชุดป้องกันรังสีแล้วเทอร์โมมิเตอร์จะทำการวัดอุณหภูมิอากาศ (T_{shield}) ก่อน และอุณหภูมิอากาศหลังจากถอดอุปกรณ์ป้องกันรังสี ($T_{\text{no shield}}$) ออก โดยความแตกต่างที่ตรวจสอบได้ระหว่างการวัดทั้งสองถือเป็นการวัดผลของรังสีความร้อนในกรณีที่อุณหภูมิผนังเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิอากาศที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของรังสี หรือที่เรียกกันว่าเป็น “อุณหภูมิเชิงแผ่รังสี” โดยอาจทำการวัดอุณหภูมิดังกล่าวในเวลาเดียวกันด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่เหมือนกันก็ได้ เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ

   ในกรณีนี้ ผลต่างมากสุดของอุณหภูมิที่วัดได้เมื่อมีหรือไม่มี radiation shield จะใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตรงเลยดังสมการ

$$\left|\delta T_{radiation}\right| \le Max\left|T_{shield} - T_{noshield}\right|$$

   ดังนั้นสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนได้ดังสมการ

Draft of guideline testing vacuum oven

$$u(\delta T_{radiation}) = \frac{1}{\sqrt{3}} * Max \left| T_{shield} - T_{noshield} \right|$$

4. ผลกระทบของการโหลด

ตามขอบเขตของแนวทางเหล่านี้ต้องทดสอบโดยไม่ต้องโหลด อย่างไรก็ตามมาตรฐานและอุปกรณ์เสริมที่ใส่เข้าไปในเตาอบสุญญากาศระหว่างทดสอบควรพิจารณา ประมาณว่าประมาณ 20% ของความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐาน ผลเนื่องจากโหลดดังสมการ

$$\left|\delta T_{Loading}\right| \le \left| T_{Load} - T_{noload} \right|$$

ในการประเมินความไม่แน่นอนเนื่องจากโหลดให้ใช้ค่า 20% ของความความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิที่วัดได้ และกำหนดให้ความน่าจะเป็นของผลเนื่องจากโหลดมีการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังสมการ

$$u(\delta T_{Loading}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} * Max \left| T_{Load} - T_{noload} \right|$$

5. Self-Heating

เมื่อเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ค่า self-heating ต้องถูกนำมาพิจารณาประกอบ เนื่องจากตัวกลางที่ใช้วัดเป็นอากาศซึ่งส่งผลต่อ self-heating ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบด้วยตัวกลางเป็นของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ สามารถใช้วิธีที่อ้างอิงตามเอกสารมาตรฐาน ASTM E664-11 โดยอธิบายแนวคิดไว้ในภาคผนวก ข

6. อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม

สภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างการสอบเทียบถูกระบุไว้ในใบรับรองการสอบเทียบ อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากเงื่อนไขของการสอบเทียบ หรือการเปลี่ยนแปลงจากช่วงที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตจะต้องได้รับการประเมินหากเกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องมือ หากเป็นไปได้ต้องมีการระบุถึงความไม่แน่นอนเพิ่มเติมสำหรับเงื่อนไขที่เบี่ยงเบน

7. ความละเอียดของตัวอ่าน

การเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของหน้าจอแสดงผลสำหรับอุณหภูมิที่กำลังวัด เป็นความไม่แน่นอนที่มีลักษณะการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีค่าการกระจายไม่เกินครึ่งหนึ่งของความละเอียดของหน้าจอแสดงผล

8. ผลกระทบของค่าความดันภายในต่อค่าอุณหภูมิ

การประมาณค่าผลกระทบของค่าความดันภายในที่มีผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิ อาจมีค่าประมาณ 0.02 % ถึง 0.1% ต่อความดันที่เปลี่ยนแปลง 1 inHg ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามควรจะหาผลกระทบนี้ด้วยการทำการทดสอบหรือวิธีการพิสูจน์ด้านอื่นๆ เพื่อให้ได้ค่าผลกระทบนี้ เป็นความไม่แน่นอนที่มีลักษณะการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

draft of guidelines testing vacuum oven

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เพื่อหา Self-heat ตาม ASTM E644-11

ในเอกสารนี้ ผลเนื่องจาก self-heating, ℃ ได้จากการคำนวณหา self-heating constant ในหน่วย mW/ ℃ จากสมการตาม ASTM E644-11 ข้อ 12.3.1.1 ในช่วงการวัดตั้งแต่ -80 ℃ ถึง 500 ℃ ของ Platinum Resistance Thermometer 100 Ω ดังนี้

self-heating constant, mW/ ℃= $S(P_2 - P_1) / (R_2 - R_1)$ (1)

R_1 = ความต้านทานของเซนเซอร์ที่ power dissipation ต่ำที่สุด, Ω

R_2 = ความต้านทานของเซนเซอร์ที่ power dissipation สูงที่สุด, Ω

S = thermometer sensitivity (dR/dt) ที่อุณหภูมิอ่างควบคุมอุณหภูมิ, Ω/ ℃

P_1 = power dissipation ต่ำที่สุด, $(R_1I_1^2)$, mW และ

P_2 = power dissipation สูงที่สุด, $(R_2I_2^2)$, mW

self-heating, ℃= P/h (2)

P = Power ที่กระแส 1 mA ,W

h = self-heating constant, W/ ℃

จากตัวอย่าง 1 หากต้องการหาค่า self-heating ของเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานที่อุณหภูมิ 25 ℃ เมื่อทราบว่าที่เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน 100 Ω มี sensitivity (S) = 0.4 Ω/ ℃ มีค่าความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์ที่กระแส 1 mA = 109.7305 Ω และค่าความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์ที่กระแส √2 mA = 109.7399 Ω ค่า $P_1 = R_1I_1^2$ ที่กระแส 1 mA = 0.00011 W ค่า $P_2 = R_2I_2^2$ ที่กระแส √2 mA = 0.000219 W ดังนั้น

self-heating constant จากสมการ (1) = 0.005 W/ ℃

self-heating, ℃= P/h = *0.00011 W/* (0.005 W/ ℃)

= 0.02359 ℃

หรือสามารถใช้ค่า self-heating constant, mW/ ℃ จากการทดลองโดย มว. ภายใต้เงื่อนไขสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน 100 Ω ที่แปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทอร์โมมิเตอร์ ได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า self-heating constant, mW/ ℃

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	self-heating constant (W/ ℃)
3	0.005
5	0.009

Draft of guidelines testing vacuum oven