

ข้อเสนอแนะ
การสอบเทียบและการสอบกลับได้ของการวัด
สำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบสาขาวัสดุก่อสร้าง

กลุ่มรับรองห้องปฏิบัติการ 1
สำนักบริหารมาตรฐาน 4
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202-3443-4
โทรสาร 0 2246-4327

G-19-1/06-04

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1. บทนำ	1
2. คำนิยาม	1
3. หลักการทั่วไป	2
4. การสอบกลับได้ของการวัด	3
5. ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจเช็ค	4
6. เอกสารขั้นตอนการดำเนินการสอบเทียบและตรวจเช็ค	5
7. บันทึกการสอบเทียบและตรวจเช็ค	5
8. ค่าความไม่แน่นอนของการวัด	6
9. ภาคผนวก A	7
10. ภาคผนวก B	8

1. บทนำ

- 1.1 เอกสารฉบับนี้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้จัดทำและประกาศใช้ในรูปแบบเอกสารข้อแนะนำ (Guideline) เพื่อใช้ประกอบการประเมินและให้ห้องปฏิบัติการใช้เป็นแนวทางสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อให้สอดคล้องตามข้อกำหนดมอก.17025 โดยสำนักงานฯ ได้นำเอกสาร Calibration and Measurement Traceability for Construction Materials Testing Equipment (UKAS 21,* October 2000) ใช้เป็นแนวทางในการจัดทำสำนักงานฯ ขอขอบคุณกลุ่มผู้ประเมินที่เกี่ยวข้องและคณะอนุกรรมการพิจารณารับรองห้องปฏิบัติการทดสอบ สาขาวัสดุก่อสร้าง ที่ช่วยพิจารณาถ่วงน้ำหนักเอกสาร ทำให้สำนักงานฯ ได้ข้อมูลสำหรับนำไปปรับแก้ร่างเอกสารและสามารถประกาศใช้ได้ ทั้งนี้เอกสารฉบับนี้มีความสมบูรณ์ในระดับหนึ่งเท่านั้น เมื่อมีการนำไปใช้หรือเมื่อมีข้อมูลมากขึ้น เอกสารฉบับนี้อาจมีความจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป
- 1.2 โดยทั่วไป การสอบเทียบเครื่องมือวัดต้องมีการสอบกลับได้ของการวัดไปยังมาตรฐานระดับชาติ เมื่อห้องปฏิบัติการให้บริการสอบเทียบภายนอก ใบรับรองการสอบเทียบต้องแสดงการสอบกลับได้ของการวัดและแสดงความสามารถของการวัด ใบรับรองการสอบเทียบที่แสดงเครื่องหมายการได้รับการรับรองจากสมอ. หรือ หน่วยรับรอง(Accreditation Body) อื่น ๆ ที่สมอ. ยอมรับ สามารถใช้เป็นหลักฐานที่เพียงพอได้

2. คำนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในเอกสารฉบับนี้มีดังต่อไปนี้

- 2.1 การสอบเทียบ (calibration) หมายถึง การวัดที่ดำเนินการบนมาตรฐานการวัด (measurement standards) วัสดุที่วัด และเครื่องมือวัด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้ (indicate values) และค่าที่รู้ของปริมาณที่ต้องการวัด (known values of measurement)
- 2.2 การตรวจเช็ค (check) หมายถึง การตรวจสอบและ/การวัด โดยความหมายของคำนี้ครอบคลุมถึงการวัดใช้เครื่องมืออ้างอิงที่เหมาะสมในสถานที่ใด ๆ เพื่อแสดงความเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- 2.3 Repeatability : หมายถึง การเปรียบเทียบผลการทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้งที่ได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน (ผู้ทดสอบคนเดิม เครื่องมือทดสอบเดิม ห้องปฏิบัติการเดิม และภายในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน)
- 2.4 Reproducibility : หมายถึง การเปรียบเทียบผลการทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้งภายใต้การทดสอบที่สภาวะที่แตกต่างกัน (ผู้ทดสอบต่างกัน เครื่องมือต่างกัน ห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน และ/หรือเวลาที่แตกต่างกัน)
- 2.5 ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of measurement) หมายถึง การระบุขอบเขตของช่วงที่คาดว่าเป็นค่าที่แท้จริง(true value) ของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่นตามที่กำหนด

3. หลักการทั่วไป

- 3.1 แผนการบำรุงรักษาและการสอบเทียบเครื่องมือ จะประกอบด้วยระยะเวลาการทำความสะอาด การใช้งาน การสอบเทียบ และการตรวจสอบความปลอดภัย แล้วแต่กรณี ตามช่วงเวลาที่กำหนด การตรวจสอบสมรรถนะ และการตรวจสอบความเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดที่ต้องการของ ห้องปฏิบัติการและความเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานวิธีทดสอบที่เกี่ยวข้อง (compliance check) ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของแผนการสอบเทียบ
- 3.2 มาตรฐานส่วนใหญ่จะกำหนดความถูกต้อง (accuracy) ที่ต้องการรวมทั้งเกณฑ์กำหนดสำหรับเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือที่นำมาใช้งานเป็นไปตามข้อกำหนดของวิธีทดสอบ เครื่องมือแต่ละชิ้นต้องได้รับการสอบเทียบและ/หรือตรวจเช็คอย่างเหมาะสม การสอบเทียบหรือตรวจเช็คสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการวัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด (tolerances) และความสามารถของห้องปฏิบัติการ
- 3.3 เมื่อมีการจัดทำแผนการสอบเทียบ จำเป็นต้องพิจารณาการสอบกลับได้ของการวัด วิธีดำเนินการรอบระยะเวลา และบันทึกของการตรวจเช็คและการสอบเทียบ ของเครื่องมือแต่ละชิ้นที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทดสอบที่ใช้ เอกสารฉบับนี้ได้นำปัจจัยดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อช่วยให้ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้าง สามารถจัดทำโปรแกรมการทวนสอบและ/หรือสอบเทียบ และการบำรุงรักษาเครื่องมือได้อย่างเหมาะสม
- 3.4 ภาคผนวก A เป็นตารางแผนการสอบเทียบและบำรุงรักษาเครื่องมืออ้างอิง (reference equipment) และเครื่องมือสำหรับปฏิบัติงาน (working equipment) ที่ใช้ในการทดสอบทางด้านวัสดุก่อสร้างและรายละเอียดของโปรแกรมการสอบเทียบและตรวจเช็คที่เหมาะสม โดยตารางจะแสดงระดับของการสอบกลับได้ของการวัดที่เหมาะสม (ดูข้อ 4.2) และคำแนะนำสำหรับใบรับรองการสอบเทียบ เครื่องมือกรณีที่ส่งเครื่องมือสอบเทียบภายนอก (ดูข้อ 7.2 และ 7.6) ภาคผนวก A อาจไม่ได้กำหนดการสอบเทียบหรือตรวจเช็คของเครื่องมือทั้งหมดในการทดสอบทางด้านวัสดุก่อสร้าง แต่อาจใช้เป็นแนวทางในการจัดทำและทบทวนระบบการสอบเทียบ
- 3.5 เอกสารฉบับนี้ไม่ได้เป็นข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐานของวิธีทดสอบแต่เป็นแนวทางในการจัดทำแผนการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบทางด้านวัสดุก่อสร้างเท่านั้น

4. การสอบกลับได้ของการวัด

4.1 วิธีการแสดงการสอบกลับได้ของการวัดไปยังมาตรฐานระดับชาติ (national standards) อาจมีความแตกต่างกันระหว่างเครื่องมือแต่ละชนิดโดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความซับซ้อนของการวัด ความถูกต้องของการวัด และความสามารถของห้องปฏิบัติการ

4.2 การสอบเทียบและตรวจเช็คเครื่องมือ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้างอาจจะจัดได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

- (1) **ระดับที่ 1** : การสอบเทียบภายนอกเป็นการสอบเทียบที่ดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการจากสำนักงานมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) โดยใบรับรองการสอบเทียบมีการแสดงเครื่องหมายการรับรองของสมอ. หรือจากห้องปฏิบัติการที่สมอ.ยอมรับ
- (2) **ระดับที่ 2** : การสอบเทียบภายในเป็นการสอบเทียบที่อาจดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการเอง โดยดำเนินการตามเอกสารวิธีการสอบเทียบที่กำหนด โดยบุคลากรที่มีความสามารถ มีการใช้เครื่องมือและมาตรฐานอ้างอิงที่เหมาะสม มาตรฐานอ้างอิงหรือเครื่องมืออ้างอิงที่ใช้ในการสอบเทียบ ต้องได้รับการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่แสดงว่ามีความสามารถในการวัด และการสอบกลับได้ของการวัด เช่น ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองจากสมอ.
- (3) **ระดับที่ 3** : การตรวจเช็คอาจดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการเอง โดยบุคลากรที่เหมาะสม ใช้เครื่องมือที่ได้รับการสอบเทียบอย่างเหมาะสม ดำเนินการตามเอกสารวิธีดำเนินการที่กำหนด
- (4) **ระดับที่ 4** : การตรวจพินิจ (visual check) เป็นการตรวจสอบเพื่อเป็นการประกันว่าเครื่องมือที่ใช้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่เหมาะสม

4.3 เมื่อจะจัดทำแผนการสอบเทียบและ/หรือตรวจเช็คเครื่องมือที่เหมาะสมต้องพิจารณาความสามารถของห้องปฏิบัติการ และข้อกำหนดของการสอบเทียบด้วย สำหรับเอกสารฉบับนี้ได้กำหนดให้มาตรฐานอ้างอิงของการวัดที่ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องมือควรมีความถูกต้อง (accuracy) เป็น 10 เท่าของเครื่องมือที่ต้องสอบเทียบ โดยมีแนวทางการดำเนินการตาม ภาคผนวก A ตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องมือมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (tolerance) 0.5 % มาตรฐานที่จะนำมาใช้ในการสอบเทียบจะต้องมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็น ± 0.05 %

4.4 เครื่องมือหลายๆ ตัวที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น และการสอบเทียบและ/หรือตรวจสอบอาจจะกำหนดให้ทำทั้งหมด หรือเฉพาะชิ้นส่วน หรือทำทั้งสองแบบ ดังนั้นอาจต้องมีการสอบเทียบและ/หรือตรวจเช็คในหลายระดับ

4.5 ในการประเมินระบบการสอบเทียบและการตรวจสอบเครื่องมือของห้องปฏิบัติการ การสอบกลับได้ไปยังระดับที่สูงกว่าอาจจะเป็นสิ่งจำเป็นกว่าการดำเนินการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการ เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำเป็นไปตามที่กำหนดในการรับรองห้องปฏิบัติการทดสอบ

5. ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจเช็ค

- 5.1 ก่อนนำเครื่องมือมาใช้งาน ต้องมีการสอบเทียบหรือตรวจเช็คที่เหมาะสมเพื่อยืนยันว่าเครื่องมือเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เครื่องมือส่วนใหญ่ต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการสอบเทียบหรือการตรวจเช็คครั้งต่อไป เนื่องจากความถูกต้อง (accuracy) หรือค่าที่อ่านได้อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาหรือการใช้งาน จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่ต้องสอบเทียบหรือตรวจเช็คครั้งต่อไป ก่อนที่อาจเกิดความเปลี่ยนแปลงความถูกต้อง (accuracy) และค่าที่อ่านได้ของเครื่องมือ ซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้งานของเครื่องมือ เพื่อยืนยันว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นระหว่างก่อนและหลังการสอบเทียบ ห้องปฏิบัติการควรจะมีการตรวจสอบก่อนครบกำหนดการสอบเทียบ (interim check)
- 5.2 เพื่อช่วยให้ห้องปฏิบัติการสามารถจัดทำแผนการสอบเทียบหรือตรวจเช็ค ตารางในภาคผนวก A จะระบุช่วงเวลาในการสอบเทียบหรือตรวจเช็ค ที่ได้มีการกำหนดในเอกสารมาตรฐานหรือได้มีการพิจารณาแล้วว่าสามารถยอมรับได้ ตามปกติช่วงเวลากการสอบเทียบหรือตรวจเช็คในเอกสารฉบับนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับเครื่องมือแต่ละชนิดโดยที่เครื่องมือชนิดนั้น
 - 5.2.1 มีคุณภาพดีและคงที่
 - 5.2.2 ผลการสอบเทียบและตรวจเช็คในครั้งก่อนเป็นที่น่าพอใจ
 - 5.2.3 หากสงสัย หรือแสดงว่ามีการขนย้ายเครื่องมือไม่ถูกต้อง ใช้งานหนักมากเกินไป หรือเครื่องมือทำงานผิดปกติ ต้องตรวจสอบเครื่องมือก่อนใช้งานครั้งแรกหรือดำเนินการตามข้อ 5.1 ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อแสดงว่าเครื่องมือยังคงที่
- 5.3 ในการกำหนดช่วงเวลาสำหรับการสอบเทียบและการตรวจเช็คเครื่องมือในช่วงแรก ควรใช้เอกสารมาตรฐานวิธีทดสอบ และคู่มือของผู้ผลิตเครื่องมือ รวมทั้งแนวทางจากเอกสารฉบับนี้มาเป็นแนวทางเบื้องต้น ข้อเสนอแนะเหล่านี้และการเป็นไปตามเกณฑ์ในข้อ 5.2 ก็จะหาช่วงเวลาได้ในที่สุด กรณีที่มีข้อสงสัยเกี่ยวกับความสามารถของเครื่องมือเป็นไปตามเกณฑ์ข้อ 5.2 หรือไม่ อาจลดช่วงเวลาการสอบเทียบหรือตรวจสอบเครื่องมือให้สั้นลงเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือยังคงความถูกต้องและยังคงใช้งานได้ ในบางกรณีอาจมีการขยายช่วงเวลาการสอบเทียบสำหรับเครื่องมือบางชนิด เช่นเมื่อประวัติเครื่องมือแสดงว่ามีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาการสอบเทียบไม่อาจลดหย่อนได้ถ้าวิธีทดสอบกำหนดให้สอบเทียบ
- 5.4 เพื่อให้มั่นใจว่าการสอบเทียบและตรวจเช็คเครื่องมือดำเนินการเป็นไปตามที่กำหนดควรมีการจัดทำแผนไว้ล่วงหน้า โดยแผนนี้อาจเป็นหนึ่งในแบบฟอร์มของห้องปฏิบัติการ หรือการกำหนดเป็นปฏิทินในแต่ละเดือนอาจเป็นวิธีหนึ่งของการจัดทำแผน การจัดทำแผนจะเลือกใช้วิธีใดก็ได้ แต่ต้องมั่นใจได้ว่าการสอบเทียบและตรวจเช็คได้ดำเนินการเมื่อถึงกำหนดระยะเวลาการสอบเทียบและตรวจเช็ค การใช้บริการสอบเทียบกับหน่วยงานภายนอกซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบเนื่องจากอาจใช้เวลานานในการเตรียมการสำหรับการส่งเครื่องมือสอบเทียบ การดำเนินการสอบเทียบ และการประเมินผลการสอบเทียบก่อนที่จะนำเครื่องมือกลับมาใช้

6. เอกสารขั้นตอนการดำเนินการสอบเทียบและตรวจเช็ค

- 6.1 ตามปกติห้องปฏิบัติการควรมีและปฏิบัติตามเอกสารขั้นตอนการดำเนินการสอบเทียบและตรวจเช็ค สำหรับการสอบเทียบและตรวจเช็คเครื่องมือทั้งหมด (อาจยกเว้นกรณีเครื่องมือวัด ที่ในเชิงวิชาการแล้วไม่จำเป็นต้องมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการ) เอกสารขั้นตอนการดำเนินการในการสอบเทียบอาจมาจากวิธีที่เป็นมาตรฐาน คู่มือของผู้ผลิตเครื่องมือ หรือเอกสารขั้นตอนการดำเนินการสอบเทียบภายใน ห้องปฏิบัติการอาจจำเป็นต้องจัดทำวิธีปฏิบัติงานเพิ่มเติมเพื่อใช้ประกอบกับเอกสารขั้นตอนการดำเนินการ
- 6.2 การคัดเลือกและทบทวนความถูกต้องของเอกสารขั้นตอนการดำเนินการโดยบุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรม และมีอำนาจในการอนุมัติเป็นพื้นฐานที่จะสร้างความเชื่อมั่นในผลการสอบเทียบหรือตรวจเช็ค

7. บันทึกการสอบเทียบและตรวจเช็ค

- 7.1 เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ห้องปฏิบัติการอาจมีแบบฟอร์มเพื่อใช้สำหรับบันทึกผลมากกว่า 1 แบบฟอร์ม ระบบการบันทึกอาจจะประกอบด้วยทะเบียนรายชื่อเครื่องมือ แผนการสอบเทียบและตรวจเช็คและการบำรุงรักษา ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ hard copy หรือมีวิธีการจัดเก็บตามระบบการจัดเก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นที่ข้อมูลที่จัดเก็บเหล่านี้บุคลากรที่ดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจเช็คเครื่องมือสามารถที่จะหยิบใช้ได้สะดวก
- 7.2 เมื่อมีการให้บริการสอบเทียบภายนอก (ข้อ 4.2(1) ระดับที่ 1) ห้องปฏิบัติการจะต้องมีการตรวจสอบใบรับรองและรายงานผลการสอบเทียบหลังจากที่เครื่องสอบเทียบกลับมาแล้วเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือเหมาะสมสำหรับใช้งาน โดยต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่าการสอบเทียบได้ดำเนินการครอบคลุมช่วงการใช้งานและระบุค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ต้องการสำหรับวิธีทดสอบ หากมีข้อสงสัยใดๆ ควรสอบถามไปยังหน่วยงานที่ให้บริการสอบเทียบ
- 7.3 ข้อเสนอแนะในการใช้แบบฟอร์มสำหรับ บันทึกผลการสอบเทียบหรือตรวจเช็ค (ข้อ 4.2.(2) ระดับที่ 2) เพื่อให้มั่นใจว่าได้มีการบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นของการสอบเทียบหรือตรวจเช็ค เมื่อมีการจัดเตรียมแบบฟอร์มดังกล่าว ต้องมั่นใจว่าแบบฟอร์มสามารถที่จะบันทึกรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นของการสอบเทียบหรือตรวจเช็คได้ทั้งหมด
- 7.4 การใช้รูปภาพ หรือ ตารางเพื่อแสดงเกณฑ์ยอมรับ (acceptable values) และค่าที่แท้จริง (actual values) อาจจะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะกรณีการตรวจสอบด้านมิติ การใช้รูปภาพอาจจะมีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบอย่างอื่นด้วย เช่น ใช้แสดงตำแหน่งในการวางเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบในการตรวจสอบการกระจายของอุณหภูมิในเตาอบ
- 7.5 กรณีที่ต้องวัดอย่างง่าย ๆ หรือต้องตรวจพินิจเครื่องมือก่อนใช้งาน (เช่น การตรวจพินิจตะแกรงร่อน) ควรจะมีการบันทึกผลการตรวจเช็คดังกล่าวในแบบฟอร์มบันทึกผลทดสอบ (test work sheet) มากกว่าที่จะแยกบันทึกในแบบฟอร์มอื่น

7.6 สำหรับบางเครื่องมือ ข้อมูลบางอย่าง เช่น วัสดุของผู้ผลิตอาจจะมีการระบุในวิธีทดสอบว่าไม่ต้องการสอบเทียบในกรณีดังกล่าวนี้ เมื่อห้องปฏิบัติการซื้อเครื่องมือจึงจำเป็นต้องมีใบรับรองเครื่องมือหรือมีการระบุข้อความว่าเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด เพื่อเป็นหลักฐานว่าเครื่องมือได้รับการออกแบบและได้ผลิตตามข้อกำหนดของวิธีทดสอบ

8 ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

- 8.1 ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้างต้องมีการประมาณการค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดทุกครั้งที่ต้องดำเนินการสอบเทียบภายในโดยห้องปฏิบัติการเอง (ระดับที่ 2) เช่น เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดความยาว อุณหภูมิ และน้ำหนัก โดยเอกสารฉบับนี้ได้มีการกำหนดแนวทางที่จำเป็นต้องคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดหรือในภาคผนวก A และแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในภาคผนวก B
- 8.2 ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดพร้อมกับการสอบเทียบเอกสารขั้นตอนการดำเนินการ ควรจะมีการแยกองค์ประกอบของการวัด และระบุแหล่งของค่าความไม่แน่นอนที่สำคัญทั้งหมด โดยค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นการรวมกันของค่าความไม่แน่นอนโดยวิธีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความไม่แน่นอนของทั้งหมด
- 8.3 ทุกครั้งที่มีการวัดผลกระทบสุ่ม (random effects) จากแหล่งต่างๆ ของค่าความไม่แน่นอนที่วัดได้ รวมถึงความแปรปรวนจากความไม่แม่นยำของการสอบเทียบ จากการกำหนดนิยาม (เช่น ในการวัดความยาวที่ไม่สามารถทำได้โดยสมบูรณ์) ความไม่แน่นอนจากความแตกต่าง (เช่น Interpolation ของขีดแบ่ง) และ ความผันแปรสุ่ม (random fluctuation) (เช่น ความผันแปรในปัจจุบันที่มีผลกระทบ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ)
- 8.4 ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากผลกระทบสุ่ม (random effects) เป็นค่าที่ได้จากคำนวณผลการวัดซ้ำ โดยวิธีทางสถิติ (Type A) ข้อมูลที่ได้จากการทำ Repeatability และ Reproducibility ที่อาจจะเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด
- 8.5 ผลกระทบทางระบบ (systematic effects) ที่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนของการวัด และแหล่งกำเนิดที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบให้รวมถึงเกี่ยวข้องกับเครื่องมือที่ใช้วัดเฉพาะ และใช้วัดบริเวณรอบๆ เช่น อุณหภูมิห้อง ค่าความไม่แน่นอนของการวัดเครื่องมือที่ใช้สอบเทียบส่วนใหญ่หาได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบ ในกรณีที่หาไม่ได้ อาจได้ข้อมูลจากผู้ผลิตเครื่องมือ ซึ่งอาจเป็นที่ยอมรับของสมอ. หลายๆ กรณีในทางปฏิบัติ จะได้นำแหล่งกำเนิดต่างๆ ของความไม่แน่นอนมาพิจารณา เช่น โดยการใช้ค่าแก้จากใบรายงานผลการสอบเทียบภายนอก และการสอบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันที่ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องมืออ้างอิง
- 8.6 รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางในการแสดงค่าความไม่แน่นอนของการวัดและความเชื่อมั่นของการวัดดูได้จากเอกสาร M 3003 The Expression of Uncertainty and Confidential Measurement
- 8.7 ภาคผนวก B เป็นตัวอย่างของการประมาณค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องมือวัดภายในห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก A ตารางการสอบเทียบและการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสาขาวัสดุก่อสร้าง

1. ตารางในภาคผนวก A ใช้เป็นแนวทางในการสอบเทียบและการตรวจสอบเครื่องมือแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดสอบสาขาวัสดุก่อสร้าง ถ้าเครื่องมือ 1 ประเภทมีหลายชนิด (เช่น เทอร์โมมิเตอร์อ้างอิง หรือ เทอร์โมมิเตอร์สำหรับปฏิบัติงาน ตะแกรงร่อนอย่างหยาบหรือตะแกรงร่อนอย่างละเอียด) จะมีการระบุแนวทางในการสอบเทียบและตรวจสอบเครื่องมือแต่ละชนิด
2. ตารางในภาคผนวก A ไม่ได้ครอบคลุมเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบสาขาวัสดุก่อสร้างก็ไม่ได้แสดงว่าเครื่องมือที่ไม่ได้ระบุในตารางนี้จะไม่มีการสอบเทียบหรือตรวจสอบ
3. การใช้ตารางภาคผนวก A ตารางในภาคผนวก A แบ่งกลุ่มเครื่องมือตามประเภทของวัสดุที่ทดสอบ เป็น 5 กลุ่ม คือ General Aggregate Bituminous Concrete และ Soil รายชื่อเครื่องมือแต่ละประเภทจะจัดเรียงตามลำดับอักษร A-Z
4. ตารางจะมีแนวทาง ดังนี้
 - 4.1 การพิจารณาระดับของการสอบกลับได้ของการวัดที่เหมาะสมในการสอบเทียบหรือการตรวจสอบ (ดูที่หัวข้อที่ 4 ในเอกสารฉบับนี้) สำหรับการสอบเทียบหรือการตรวจสอบ
 - 4.2 การกำหนดรอบระยะเวลาการสอบเทียบอย่างต่อเนื่องที่สูงสุดอย่างเหมาะสม (ดูที่หัวข้อที่ 5 ในเอกสารฉบับนี้)
 - 4.3 ไบรรับรองหรือบันทึก
 - 4.4 ค่าความไม่แน่นอนของการวัด
5. การกำหนดระดับการสอบกลับได้ของการวัดต้องมีการพิจารณาอย่างเหมาะสม ห้องปฏิบัติการอาจเลือกใช้ระดับการสอบกลับได้ของการวัดที่สูงกว่าสำหรับการสอบเทียบหรือการตรวจเช็ค แต่ไม่ต่ำกว่าระดับที่ 1 และระดับที่ 2
6. การกำหนดวงรอบของการสอบเทียบโดยมีการพิจารณารอบระยะเวลาสูงสุดที่เหมาะสม
7. ถ้าการสอบเทียบหรือตรวจสอบมีการอ้างอิงถึงเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบหรือตรวจสอบ เครื่องมือที่ถูกอ้างอิงถึงนี้จะมีการระบุอยู่ในช่องถัดไปของตารางนี้

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
<u>General</u> Bottle shakers & rollers		Check speed of operation of machine when fully loaded	3	Yearly	In-house	No
Chemical reagents		Use AR grade [grades other than AR grade chemical reagent may be used where permitted by the test method] from reputable manufacturer (if possible ISO 9000 approved). Establish date of expiry	4	Consult guidance publications on chemical reagents	In-house, eg. Labelling QC checks or charts	No
Distilled or de-ionized water		Check as defined in test method	3	At appropriate intervals, depending on production batch size and storage conditions (max 6 months)	In-house	No
Force measuring devices	(a) Compression testing machines for concrete & mortars	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against standards 	1	Must not exceed 1 year	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate machine performance using Strain cylinder 	1	Must not exceed 1 year	Accredited Lab	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check rate of load pacer and that platens auxiliary platens and spacing blocks meet the specifications given in the relevant standard 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Force measuring devices (cont.)	(a) Compression testing machines for concrete & mortars	<ul style="list-style-type: none"> ● Hardness and surface texture of platens and auxillary platens 	2	Initial and after maintenance or repair	TLAS test	No
	(b) Loading frames for soils, aggregates and bituminous testing	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate in accordance with the relevant standard, 	2	At least yearly	In-house	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> ● Check the load pacing/strain rate where rates are specified by the test method 	3	Yearly	In-house	No
Hydrometer	Density	<ul style="list-style-type: none"> ● Shall comply with standards of Soils. 	1	Initial only	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> ● Scale calibrate in accordance with relevant standard 	3	Yearly	In-house	No
Length measuring devices	<u>1. Gauge blocks</u>	Shall comply with the relevant grade of Standards gauge blocks	1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
	(a) Reference					
	(b) Working	Calibrate against appropriate calibrated reference equipment	2	Yearly	In-house	Yes

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Length measuring devices (cont.)	<u>2. Micrometers</u>					
	(a) Reference	Calibrate externally	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Working	Calibrate against calibrated gauge blocks meeting the appropriate grade requirements of the relevant standards	2	Yearly	In-house	Yes
	<u>3. Callipers</u>					
	(a) Reference	Calibrate externally	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Working	Calibrate against calibrated gauge blocks meeting the appropriate grade requirements of relevant standard	2	Yearly	In-house	Yes
	<u>4. Steel rules</u>					
	(a) Reference	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate externally 	1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) working	<ul style="list-style-type: none"> ● Rules complying with the relevant standards 				
		<ul style="list-style-type: none"> ● Engineers' rule not confirmed as standards check against reference using suitable visual aid 	2	Initial	In-house	Yes
	<ul style="list-style-type: none"> ● All rules- visual check for readability and wear ● All rules- recalibrated 	4 2	Yearly 5 yearly	In-house In-house	No Yes	

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Length measuring devices (cont.)	<u>5. Feeler gauges</u>	Calibrate with appropriate calibrated reference equipment	2	Yearly	In-house	Yes
	<u>6. Straight edge/ Engineers' square</u>					
	(a) Reference	Calibrate externally	1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Working	Carry out appropriate checks to satisfy the relevant standards	3	Yearly	In-house	No
	<u>7. Dial gauges and displacement transducers</u>	Calibrate against a calibrated micrometer device or in a comparator frame using calibrated gauge blocks or calibrated length bars in an appropriate environment	2	Yearly	In-house	Yes
Muffle furnace		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile in working space 	3	Initial and after maintenance or repair	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Recalibrate or check as appropriate for the accuracy required by the test method ie, recalibrate using calibrated reference thermocouple or 	2	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> check temperature profile using substances of known melting point or other suitable indicator 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Nuclear density /moisture meter		Manufacturer's calibration		2 yearly	Manufacturer's or agent's	No
		Stability check	3	1-3 monthly	In-house	No
		Standardisation check	3	Daily or 8 hourly	In-house	No
Ovens (conventional)	(a) Required temperature tolerance $< \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile in working space with a calibrated reference thermometer or calibrated reference thermocouple 	3	Initial and after maintenance or repair	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature at the midpoint of the working space with calibrated reference thermometer or calibrated reference thermocouple 	3	At least yearly depending on use	In-house	No
	(b) Required temperature tolerance $\geq \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile in working space with calibrated thermometer or calibrated thermocouple (with a unique serial number) 	3	Initial and after maintenance or repair	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature at the midpoint of the working space with calibrated thermometer or calibrated thermocouple 	3	At least yearly depending on use	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Pressure/vacuum gauges	(a) Reference	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate. 	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> ● Liquid manometers/barometers 	1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Working (Bourdon tube or electrical transducers)	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate against calibrated deadweight tester or a calibrated reference gauge 	2	6 monthly	In-house	Yes
Tachometer or stroboscope	Reference	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate 	1	3 yearly	Accredited Lab	Yes
Test sieves	All sizes	<ul style="list-style-type: none"> ● Refer to TLAS current guidance publications 				
Thermocouples	(a) Reference	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate externally 	1	1-4 yearly depending on requirement of test method, use or type	Accredited Lab	Yes
	(b) Working	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate against reference thermocouple or liquid in-glass thermometer 	2	Yearly (6 monthly)	In-house	Yes
Thermometers	(a) Reference : liquid-in-glass	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate for precision and range of measurement required and 	1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> ● Check at ice point (or exceptionally, some other reference point). 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Thermometers (cont.)	(b) Reference : platinum resistance	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate for precision and range of measurement required and Check at ice point. 	1	1-5 yearly depending on requirement of test method, use or type	Accredited Lab	Yes
			3	Before use	In-house	No
	(c) Working : platinum resistance	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against reference PRT or reference thermometer 	2	Yearly	In-house	Yes
	(d) Working : liquid-in-glass temperature tolerance $\lt; \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against a calibrated reference thermometer and Check at ice point or another reference point 	2	Initially then 5 yearly	In-house	Yes
			3	6 monthly for first year of use and yearly thereafter	In-house	No
	(e) Working: liquid-in-glass temperature tolerance $\geq \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against a suitable reference thermometer and Check at ice point or other reference point 	2	5 yearly: recalibrate on replacement	In-house	Yes
			3	6 monthly for first year of use and yearly thereafter	In-house	No
	(f) Working : IP&ASTM liquid-in-glass	<ul style="list-style-type: none"> Complete calibration Partial recalibrated Reference point check 	1	Initial	Accredited Lab	Yes
			1	5 yearly	Accredited Lab	Yes
			3	Yearly		No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Time measuring devices	(a) Required tolerance $\leq \pm 0.5$ sec	Calibrate appropriately according to required accuracy	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Required tolerance $> \pm 0.5$ sec	Check against speaking clock	3	Yearly	In-house	No
Volumetric glassware	Where calibration is specified or Grade A required by test method	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate by calculating the volume or amount of distilled water contained or delivered at a measured temperature or By reference to appropriate test method 	2	Initial	In-house	No
Volume-change indicators	(a) Transducers and readout units	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate by weighing the amount of distilled water delivered at a measured temperature 	2	Yearly	In-house	Yes
	(b) Burette type indicators	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate by weighing the amount of distilled water delivered at a measured temperature 	2	2 yearly	In-house	Yes
Water baths, tanks etc, constant temperature	(a) Required temperature tolerance $< \pm 2$ °C	<ul style="list-style-type: none"> Check bath or tank temperature with an appropriate calibrated thermometer or calibrated continuous recording device 	3	During use	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile with a calibrated thermometer: refer to the relevant standard method for individual requirements 	3	Initial and after maintenance or repair	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Water baths, tanks etc, constant temperature	(b) Required temperature tolerance $\geq \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Check bath or tank temperature with an appropriate calibrated thermometer or calibrated max/min thermometer 	3	During use	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile 	3	Initial and after maintenance or repair	In-house, test worksheet	No
Weighing machine	(a) Laboratory balances, platform scales, etc	<ul style="list-style-type: none"> Complete calibration 	2	Yearly / 6 monthly	In-house	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> Zero and 1/multi-point check 	3	Daily or before use	In-house	No
	(b) Spring balances	<ul style="list-style-type: none"> Check with working masses at suitable points 	3	Before each use	In-house	No
Weights	(a) Reference : Class E1&E2	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate 	1	2 yearly	Accredited Lab	Yes
	(b) Reference : Class F1,F2 & M1	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate 	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
	(c) Working : Class E1 & E2	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate 	2	2 yearly	In-house	Yes
	(d) Working : Class F1, F2 & M1	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate 	2	Yearly	In-house	Yes
	(e) Working : Other (eg. traders)	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate to an accuracy appropriate for their use 	2	yearly	In-house	Yes

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
<u>Aggregate</u>						
Abrasion machine		Check:				
		● dimensions of moulds, trays and plates;	3	2 yearly	In-house	No
		● speed of rotation of machine:	3	2 yearly	In-house	No
		● mass of weights:	3	before each run	In-house	No
		● rate of flow from feed mechanism	3	At start of run	In-house	No
		● Visually check surface of lap for scoring refer to the relevant standards	4	Before test runs		
Abrasive	Silica sand for AAV determination	Check the grading of a sample from each batch Refer to the relevant standards	3	Before commissioning each batch	In-house	No
Accelerated polishing machine	Polished stone value	Check apparatus as specified in test method check :				
		● rate of flow of flowmeter:	3	At least 6 monthly	In-house	No
		● rotational speed of road wheel:	3	Yearly	In-house	No
		● planes of rotation of all tyred and road wheels:	3	Yearly	In-house	No
		● force of rubber wheels on road wheel:	3	Yearly	In-house	No
		● rate of flow of feed mechanism:	3	At start of run and during run	In-house	No
		● parallelism of rubber wheels to axis of road wheel:	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Accelerated polishing machine (cont.)		<ul style="list-style-type: none"> rubber tyred and road wheel dimensions 	3	At least yearly, depending on use	In-house	No
		Ensure rubber tyred wheel of required hardness are purchased and stored correctly		Initial	Manufacturer's or agent's	No
Impact testing device	Aggregate impact value apparatus	Check				
		<ul style="list-style-type: none"> dimensions of cylindrical steel cup and metal hammer: 	3	2 yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> mass of circular metal base and metal hammer: 	3	2 yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> height of drop and free fall of hammer 	3	Before each test	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> thickness of reaction block/floor 	3	Initial and if moved	In-house	No
Thickness gauges	Flakiness Index/elongation	<ul style="list-style-type: none"> Check with calibrated caliper or micrometer 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Bitumenious Materials						
Centrifuges		Maintain centrifuge in accordance with the relevant standards and calibrate at speed of rotation used. Where the design gives appropriate access this may be done in-house with a calibrated tachometer or other method of similar accuracy. (Ensure safety requirements are met when calibrating in-house)	2	6 monthly	In-house	No
Compaction hammer	Automatic or manual	<ul style="list-style-type: none"> ● Check hammer mass, freefall distance, foot diameter, face of foot, blows and counter function with the requirements of the relevant standards ● All other parameters on delivery ● In addition to the above, an annual visual inspection should be carried out on the hardwood block and the torqued rods 	3	Yearly Initial	In-house	No No
Hardness number apparatus	Mastic asphalt measuring dial	<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate penetration dial gauge 	2	yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> ● Calibrate force applied 	2	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Hardness number apparatus (cont.)	Mastic asphalt measuring dial	<ul style="list-style-type: none"> Check dimensions of indenter pin 	2	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check general condition and wear on indenter pin 	4	Regularly, depending on use		No
Penetrometer	Needle	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate needle against requirements of the relevant standards. 	1	100 use or 5 years, whichever occurs first	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> Check condition of needle 	4	before each use		
	Apparatus	<ul style="list-style-type: none"> Check apparatus meets requirements of the relevant standards Check mass of spindle assembly 	4	Yearly, or each time mass is changed		
		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate dial gauge Calibrate timing device 	2 1	Yearly Yearly	In-house Accredited Lab	Yes Yes
Rolling straight edge		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate 	1	30 km, or yearly depending on use	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> Check deflection using spacer strips 	3	Before and after each use	In-house	No
Softening point	Apparatus	<ul style="list-style-type: none"> Check frame assembly, guides, balls and rings against requirements of standards 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Solvents (eg dichloromethane)	● Purchased	● Ensure product complying with appropriate standard is purchased	3	Regularly, depending on use	Manufacturer's	No
	● Recovered in-house	● Check re-distilled solvent for parameters specified by standard			In-house	No
Taxture meter (laser)		● Check operation of equipment	2	Yearly	Manufacturer's	No
		● Calibrate tyre pressure against calibrated pressure gauge:	3	Before each use	In-house	No
		● Check texture meter against dedicated texture mat		Before each use	In-house	No
		● Reference to manufacture's guideline				
Concrete						
Air content apparatus	(a) Type A	● Calibrate apparatus	3	Yearly, & when site of operation varies in elevation by > 200 m from that of previous calibration	In-house	No
	(b) Type B	● Calibrate	3	Yearly	In-house	No
Compacting factor apparatus		● Check machine complies with requirements of the relevant standards	3	2 yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Concrete reinforcement cover	Electromagnetic apparatus	(a) Calibrate against requirements of the relevant standards	2	Initial	Manufacturer's	No
		(b) Check against test block (s)	3	Before each use	In-house	No
Cube moulds		<u>Initial</u> Either: certificate of conformance or: check dimensions and surface condition on all moulds	3	Initial	manufacturer's	No
		• plus hardness on 10% of each batch	2	Initial	In-house	No
		• Subsequent Check dimensions and surface conditions	3	Yearly	TLAS test In-house	No
		• Visually check general condition	4	Yearly	In-house	No
Curing tanks	(a) Required temperature tolerance < ± 2 °C	• Check tank temperature with a calibrated max-min thermometer or calibrated continuous temperature recording device	3	during use	In-house	No
		• Check temperature profile of tank with a calibrated thermometer	3	Initial and after maintenance, adjustment or repair	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Curing tanks (cont.)	(b) Required temperature tolerance $\geq \pm 2^\circ\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> Check tank temperature with the relevant standards thermometer, calibrated continuous temperature recording device or calibrated max/min thermometer 	3	During use	In-house, eg test worksheet	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check temperature profile of tank 	3	initial and after maintenance or repair	In-house	No
Flow table		<ul style="list-style-type: none"> Check apparatus complies with requirements of the relevant standards 	3	Yearly	In-house	No
Half cell equipment	(a) millivolt meter	<ul style="list-style-type: none"> Check millivoltmeter output against reference calomel electrode of known millivolt output 	3	monthly	In-house	No
	(b) Copper & silver cells	<ul style="list-style-type: none"> Check millivolt meter 	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
Slump cone		<ul style="list-style-type: none"> Check dimensions 	3	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Visually check general condition 	4	At regular intervals, depending on use		
Slum rod/tampling bar		<ul style="list-style-type: none"> Check dimensions and mass for tamping bars 	3	Yearly	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
<u>Soils</u>						
Compaction mould		<ul style="list-style-type: none"> Check dimensions 	3	Yearly, or before each use, as detailed in test procedure	In-house	No
Compaction rammer		<ul style="list-style-type: none"> Check mass and dimensions 	3	Yearly, depending on use	In-house	No
Depth gauge		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate, eg. using calibrated gauge blocks 	2	Yearly	In-house	Yes
Hanger weights	Consolidation & direct shear tests	<ul style="list-style-type: none"> Check weight using appropriate calibrated balance 	3	2 yearly	In-house	No
Hydraulic consolidation cell & accessories		<ul style="list-style-type: none"> Cell calibration 	3	Yearly, depending on used	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Diaphragm calibration 	2	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check diaphragm pressure, back pressure and pore pressure systems 	3	3 monthly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> 'Complete' check 'Routine' check 	3	Before each use		

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Liquid limit device	Casagrande apparatus	<ul style="list-style-type: none"> Check dimensions of cup and grooving tool 	3	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check general condition of grooving tool and cup 	4	Before each use		No
		<ul style="list-style-type: none"> Ensure rubber base of hardness and resilience specified by standards is purchased 		Initial	Manufacturer's	
		<ul style="list-style-type: none"> Check hardness/resilience of rubber base 	2	2 yearly or replace	In-house	No
	Cone penetrometer	(a) calibrate dial gauge	2	Yearly	In-house	Yes
	(b) Check cone dimensions, cone assembly mass, timer and cone tip gauge using appropriate reference equipment	3	Yearly	In-house	No	
	Cone tip sharpness	4	Daily or before each use	In-house	No	
Moisture meter	Calcium carbide pressure moisture meter	<ul style="list-style-type: none"> Check according to manufacturer 's instructions 	3	Yearly	In-house	No
Moisture condition apparatus		<ul style="list-style-type: none"> Check that components of the apparatus meet the requirements of the relevant standards, including mass of base 	3	Yearly	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Check operation of apparatus 	3	Initial	In-house	No
			4	Before and after a series of tests	In-house	No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Moisture condition apparatus		<ul style="list-style-type: none"> Acceleration (by approved technique) if required by client 	3	Yearly	In-house	No
Oedometer (consolidation apparatus)		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate apparatus-deformation characteristics 	2	Initial	In-house	No
		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate/check component items (eg consolidation ring, consolidation cell, dial gauge, weights, loading device) 	2, 3	Refer to individual listings	In-house	Yes/No
Ohmmeter	Impedence	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against a calibrated reference instrument 	2	Yearly	In-house	Yes
Penetration resistance apparatus	Field tests	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate and check components of apparatus to ensure compliance with the relevant standards 	2, 3, 4	As appropriate	In-house	Yes/No
pH meter		<ul style="list-style-type: none"> Check with at least two standards buffer solutions of appropriate pH 	3	Before each use	In-house	No
Pore water pressure measuring device		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate pressure transducer or gauge using a calibrated reference pressure gauge 	2	6 monthly	In-house	Yes
Ring shear apparatus		<ul style="list-style-type: none"> For component items such as dial gauges and load application 	2, 3	Refer to individual listings	In-house	Yes/No

Item	Type	Calibration or check	Level	Interval	Type of certificate	Uncertainty budget required?
Sand	In situ density replacement sand	<ul style="list-style-type: none"> Check a sample from the batch for grading and purity requirements 	3	Before commissioning a batch	In-house	No
Shearbox apparatus		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate force measuring and displacement devices 		Refer to individual listings	In-house	Yes
Shrinkage limit apparatus	Definitive	<ul style="list-style-type: none"> Calibrate component micrometer with appropriate calibrated reference equipment 	2	Yearly	In-house	Yes
	Linear	<ul style="list-style-type: none"> Engineers' steel rule - see Length measuring devices 	2	Yearly	In-house	No
Springs	Torque etc	<ul style="list-style-type: none"> Calibration 	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
Triaxial cell & accessories		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate component items 		Refer to individual listings	In-house	No
Vance apparatus		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate torsion springs 	1	Yearly	Accredited Lab	Yes
		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate area ratio of the vane 	2	Yearly	In-house	No
Voltmeter		<ul style="list-style-type: none"> Calibrate against a calibrated reference 	2	Yearly	In-house	Yes

ภาคผนวก B Examples of uncertainty budgets

Example 1 Accuracy of micrometer traverse up to 150 mm using grade 1 gauge blocks

The table below gives all possible input values derived from the calibration of a working micrometer used to measure lengths up to 150 mm. The micrometer was checked at ten equally spaced distances in the range of 150 mm using a gauge block or combinations of gauge blocks to determine the point of maximum inaccuracy, this point was then determined ten times to give the repeatability (0.5 μm).

All other values are obtained from the environmental conditions during the performance of the calibration and the reference equipment used.

Source of uncertainty	Value, μm	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty, μm
Uncorrected errors in length of gauge block	0.30	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.173
Uncertainty of gauge block	0.1	Normal	2	0.05
Repeatability	0.5	Normal	1	0.5
Temperature effect	N/A	Rectangular	$\sqrt{3}$	
Resolution of micrometer	1.0	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.577
Sum of squares	–	–		0.615
Combined standard uncertainty	–	Normal	–	0.784
Expanded uncertainty	–	Normal ($k=2$)	–	1.569

Uncertainty would be reported at $\pm 2 \mu\text{m}$

Note

1. The repeatability values given were derived from an internal calibration procedure being performed under truly repeatable conditions 10 times.
2. The combined standard uncertainty multiplied by coverage factor of $k = 2$ provides a confidence level of approximately 95%
3. References and further reading are given in UKAS publication M3003.
4. The above uncertainty budget is intended to consider all relevant input values, but it is possible to eradicate some input values, depending on how a calibration is performed.

Example 2 Accuracy of liquid-in-glass total immersion thermometer used full range

The table below gives all possible input values derived from the calibration of a working total immersion thermometer using a platinum resistance reference thermometer. The repeatability value of 0.05 is derived from performing the calibration at ten equally spaced points over the working range of the thermometer then determining the repeatability at the point of maximum inaccuracy. It can also be noticed that the instruments drift has been taken into account, similarly the possible discrepancy due to where the instruments are placed in the heating medium (bath).

Source of uncertainty	Value, °C	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty, °C
Uncorrected error on calibration of reference thermometer	0.05	Normal	2	0.025
Uncorrected error on reference thermometer	0.02	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0115
Drift of reference thermometer	0.05	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0289
Resolution of reading of reference thermometer	0.05	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0289
Resolution of reading of reference thermometer	0.1	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0577
Temperature source (bath) non-uniformity	0.01	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0058
Repeatability of measurements	0.05	Normal	1	0.050
Sum of squares	-	-	-	0.00831
Combined standard uncertainty	-	Normal	-	0.0914
Expanded uncertainty	-	Normal ($k=2$)	-	0.18

Uncertainty would be reported as ± 0.2 °C

Notes

1. The repeatability values given were derived from an internal calibration procedure being performed under truly repeatable conditions 10 times.
2. The combined standard uncertainty multiplied by coverage factor of $k = 2$ provides a confidence level of approximately 95%
3. References and further reading are given in TLAS publication G-10
4. The above uncertainty budget is intended to consider all relevant input values, but it is possible to eradicate some input values, depending on how a calibration is performed.