สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
National Institute of Metrology (Thailand)

ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ
Material Properties Analysis and Development Centre

Final Report of Interlaboratory Comparison on Hardness Measurement, Rockwell Scale C (MH02)

V Tulasombut [1], *T Sanponpute* [1], *R Kongkavitool* [1], *P Laosang* [2], *D Ounpanich* [3], *S Watanasriyakul* [4]

[1] National Institute of Metrology (Thailand)
[2] Somboon Advance Technology Public Co.,Ltd.
[3] Material Properties Analysis and Development Centre
[4] King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMITNB)

Content

	Page
1. Abstract	1
2. Artifacts	2
3. Participants	9
4. Circulation of Artifacts	9
5. Stability of Artifacts	10
6. Transportation	10
7. Measurement result	11
8. Analyzing method of comparison results	14
9. Comparison results	14
10.Conclusion	20
References	21
Annex I Technical protocol of interlaboratory Comparison on hardness measurement, Rockwell scale C (MH02)	22
Annex II Indentation positioning sheet for each participant	47
Annex III Non-uniformity and deviation of the artifact	48
Annex IV Measurement report of participants	53

สารบัญ

	หน้า
1. บทคัดย่อ	1
2. ตัวกลางเปรียบเทียบ	2
3. ผู้เข้าร่วมเปรียบเทียบการวัด	9
4. การขนส่ง	9
5. Stability of Artifacts	10
6. Transportation	10
7. Measurement result	11
8. Analyzing method of comparison results	14
9. Comparison results	14
10.Conclusion	20
เอกสารอ้างอิง	21
Annex I Technical protocol of interlaboratory Comparison on hardness measurement, Rockwell scale B (MH01)	22
Annex II Indentation positioning sheet for each participant	47
Annex III Non-uniformity and deviation of the artifact	48
Annex IV Measurement report of participants	53

29 April 2009

1. Abstract

This report purposes the results of the interlaboratory comparison on hardness measurement, Rockwell scale C (MH02). The comparison was carried out during March 2008 to April 2009 in order to determine the capability of the hardness measurement of reference block, cylindrical axle.

This report was issued in both Thai and English. In case there was the inconsistency or mistake in the report, the author requested to use Thai version as the reference.

A protocol of the comparison was prepared by the pilot laboratory and was distributed to participants on March 2008 to gather the comments and opinions from them. All participants accepted and approved the protocol.

After all artifacts were completely prepared and confirmed their homogeneity (The courtesy of Material Properties Analysis and Development Centre), they were sent to the participants to carry out the measurement.

The participants used the Rockwell hardness testing machine at least according to ISO6508-2 to carry out the comparison.

The measurement results determined from the participants were submitted to NIMT and were used for analyzing the degrees of equivalence in this report.

For block artifact, the deviation from the reference value was within -0.64 HRC to 0.39 HRC. The range of E_n numbers was between -0.34 to 0.52.

1. บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้นำเสนอ ผลการทำการเปรียบเทียบผลการวัดความแข็ง Rockwell scale C (MH02) การเปรียบเทียบผลการวัดได้ดำเนินการระหว่าง เดือนมีนาคม 2551 ถึง เดือนเมษายน 2552 เพื่อที่จะยืนยันความสามารถในการวัดความแข็งของ Reference block และชิ้นงานเพลาทรงกระบอก

รายงานได้จัดทำขึ้น ทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ในกรณีที่มีความไม่สอดคล้องกัน หรือข้อผิดพลาดใดๆ ทางผู้เขียนขอให้ใช้ฉบับที่เป็น ภาษาไทยเป็นหลัก

Protocol ของการเปรียบเทียบผลการวัดครั้งนี้ ได้จัดทำขึ้นโดย Pilot Laboratory และได้ทำการส่งให้กับทางห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด เพื่อพิจารณาและทำการยอมรับ Protocol ก่อนเริ่มทำการเปรียบเทียบผลการวัด เป็นที่เรียบร้อยเมื่อเดือนมีนาคม 2551

หลังจากที่ได้จัดเตรียม และยืนยันความเป็น Homogeneity ของตัวกลางเปรียบเทียบผลการวัดทั้งหมดแล้ว (ด้วยความอนุเคราะห์ของศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ) ก็ได้ทำการจัดส่งตัวกลางเปรียบเทียบผลการวัด ให้กับผู้เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด เพื่อทำการวัด

ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด ได้ใช้เครื่องทดสอบความแข็ง ที่เป็นไปตาม ISO 6508-2 ในการทำการเปรียบเทียบผลการวัด

ผลการเปรียบเทียบผลการวัดนั้นถูกรายงาน จากห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดมายัง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ เพื่อทำการคำนวณและวิเคราะห์ Degree of Equivalence ที่แสดงอยู่ใน รายงานผลการวัดฉบับนี้

ในกรณีของ Block artifact ค่าเบี่ยงเบนจาก Reference value นั้นอยู่ระหว่าง -0.64 HRC ถึง 0.39 HRC และค่า E_n numbers นั้นอยู่ระหว่าง -0.34 ถึง 0.52

For cylindrical axle artifact, the deviation from the reference value was within -0.77 HRC to 0.81 HRC. The range of E_n numbers was between -0.43 to 0.81.

This report or this comparison showed the awareness in order to declare the laboratory's competence. It should cover all test application, i.e., cylindrical axle, etc., which was serviced by each laboratory.

2. Artifacts

The artifacts were prepared by the pilot laboratory as follows:

2.1 Reference Hardness Block

They were manufactured by Asahi Giken Co.,Ltd. Japan. There were 10 blocks as described in Table 1.

All reference blocks were engraved as described in Protocol MH02 (See Annex I) and the positioning sheet identified the location of indentation for each laboratory were prepared as shown in Annex II.

ในกรณีของ ชิ้นงานเพลาทรงกระบอก ค่าเบี่ยงเบนจาก Reference value นั้นอยู่ระหว่าง -0.77 HRC ถึง 0.81 HRC และค่า E_n numbers นั้นอยู่ระหว่าง -0.43 ถึง 0.81

รายงานผลการวัดนี้ หรือการเปรียบเทียบผลการวัดนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า การตัดสินความสามารถในการวัดความแข็งนั้น ควรจะต้องครอบคลุมถึง Application การทดสอบต่างๆ ที่ให้บริการโดยห้องปฏิบัติการนั้นๆ เช่น การวัดชิ้นงานเพลาทรงกระบอก เป็นต้น

2. ตัวกลางเปรียบเทียบ

Pilot Laboratory ได้จัดเตรียม Artifacts โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 Reference Hardness Block

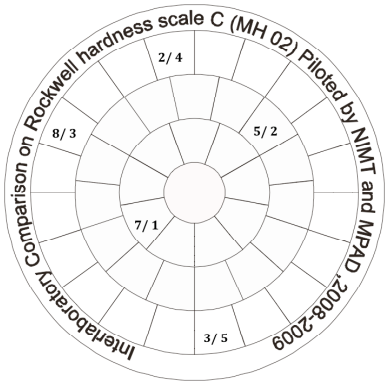
ผลิตโดย บริษัท Asahi Giken Co.,Ltd. Japan โดยแต่ละ set มีจำนวน 10 ก้อน รายละเอียดแสดงอยู่ใน ตารางที่ 1

reference block ทั้งหมด ถูกสลักแบ่งช่อง ดังรายละเอียดใน Protocol MH02 (AnnexI) แผ่นพลาสติกที่ใช้ในการระบุตำแหน่งเฉพาะแต่ละห้องปฏิบัติการ ถูกแสดงใน AnnexII

Table 1 The serial number of the block artifacts

Nominal	Serial Number
20	A12870
25	A13343
30	47388
35	37730
40	B15549
45	A16761
50	A17830
55	A18097
60	A26140
65	A20469

Fig. 1 Engraving pattern on block artifact surface



2.2 Cylindrical Axle and Sheet

The hardening-process control of the cylindrical axles of 5 mm, 11 mm and 19 mm (with hardness value of 35, 45, 60 HRC) in radius, 30 pieces per group, was the courtesy of the department of production engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

All artifacts were investigated and selected by Co-pilot laboratory (MPAD) with the procedure described in the protocol MH02. The deviation from the mean and Non-uniformity of the selected artifacts were shown in Fig. 2 and in AnnexII.

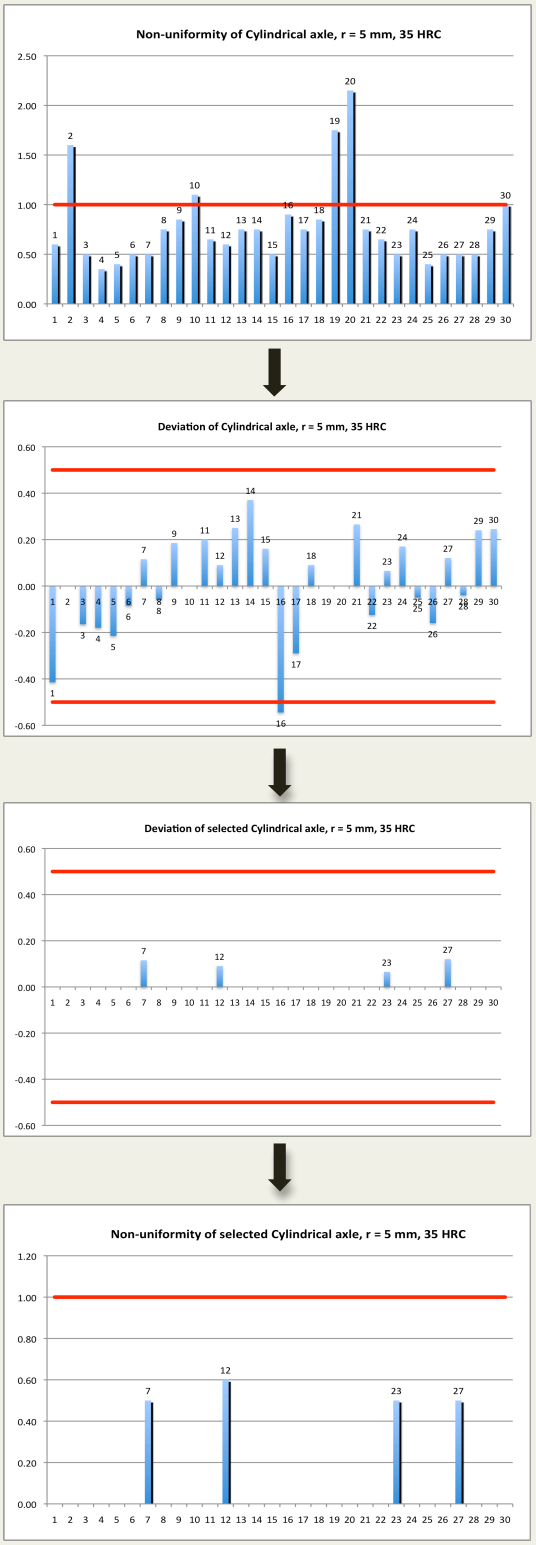
2.2 ชิ้นงานทรงกระบอกและชิ้นงานแผ่น

Artifact ชิ้นงานทรงกระบอก ที่ความแข็ง 35, 45, 60 HRC ที่รัศมีขนาด 5 mm, 11 mm และ 19 mm ได้รับความอนุเคราะห์ในการควบคุมการชุบแข็งโดย ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ กลุ่มละ 30 ชิ้น

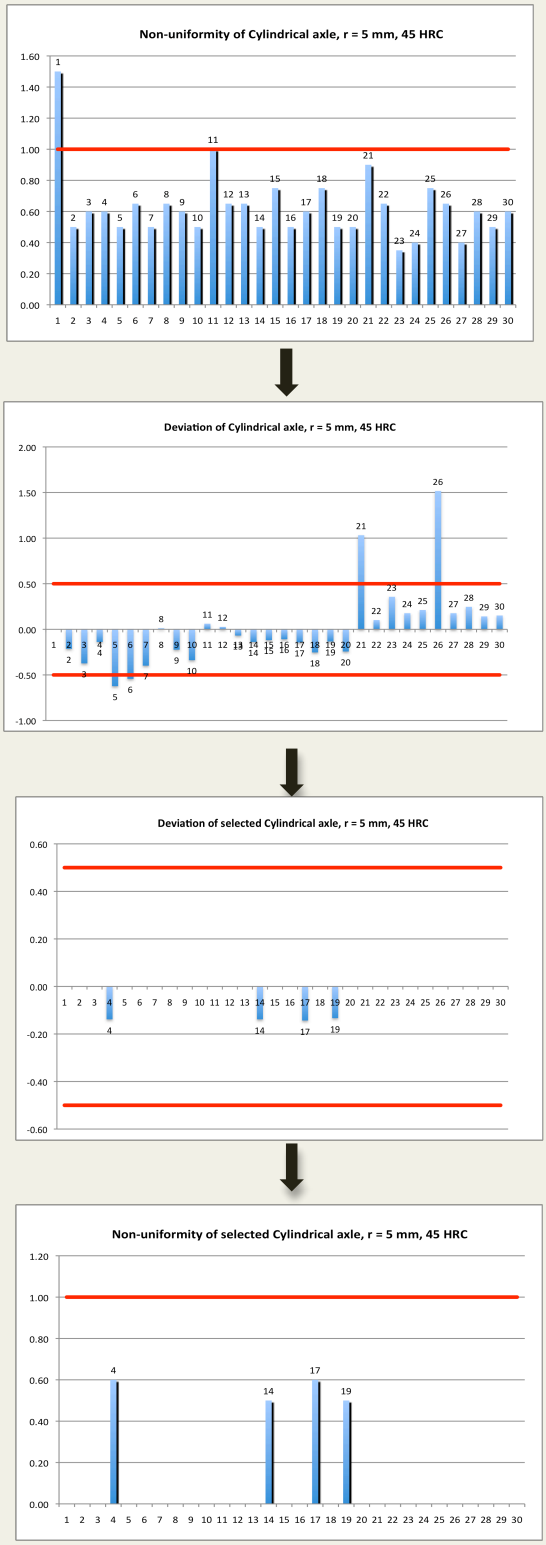
Artifact ทั้งหมด ถูกตรวจสอบคัดเลือก ความเป็นเนื้อเดียวกันโดย Co-pilot laboratory (MPAD) รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการ ถูกบรรยายใน protocol MH02 ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่ม และ Non-uniformity ของกลุ่ม artifact ที่ถูกคัดเลือก มีรายละเอียดดังกราฟ ในรูปที่ 2 และตารางใน AnnexII

Fig. 2 The Deviation from the mean and the non-uniformity of the cylindrical axle and sheet artifacts

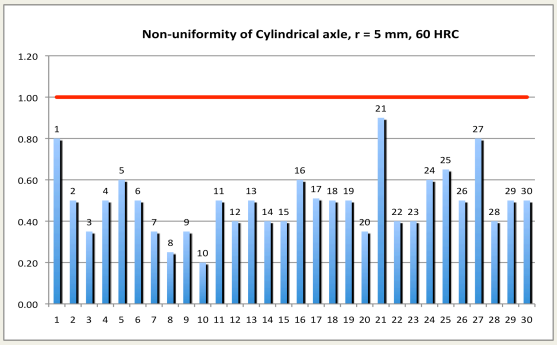
Cylindrical axle radius 5 mm, 35 HRC

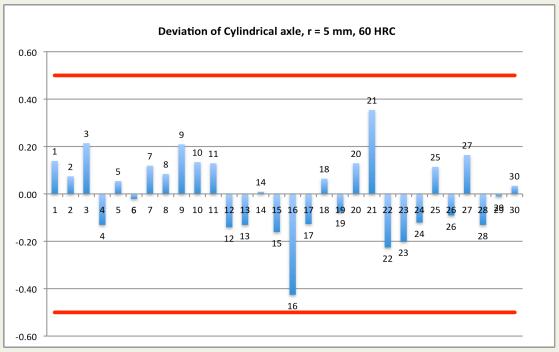


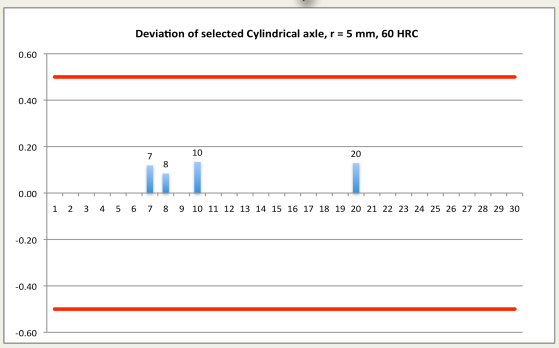
Cylindrical axle radius 5 mm, 45 HRC

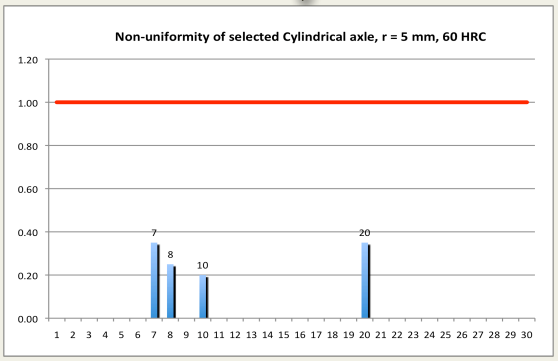


Cylindrical axle radius 5 mm, 60 HRC

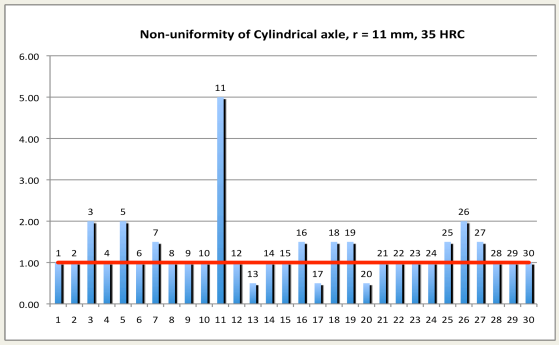


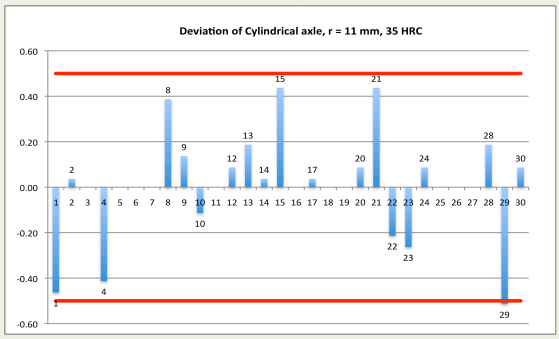


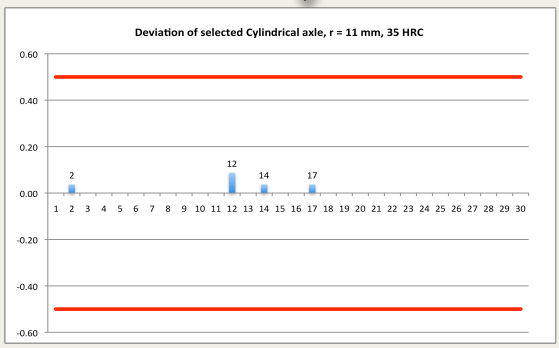


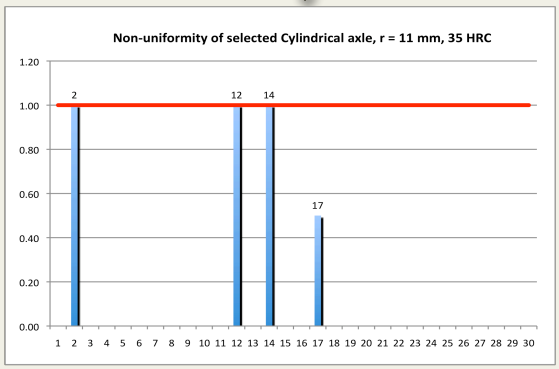


Cylindrical axle radius 11 mm, 35 HRC

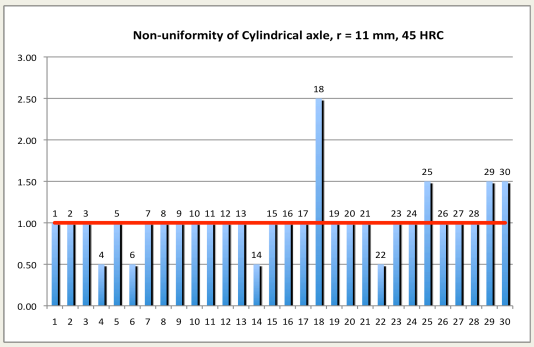


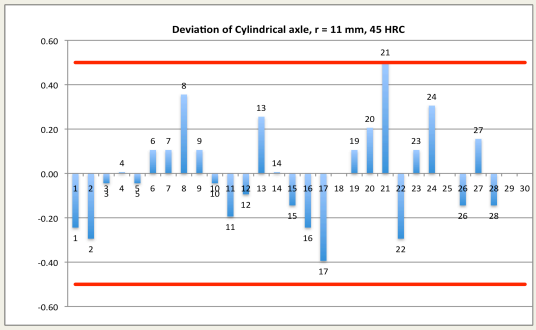


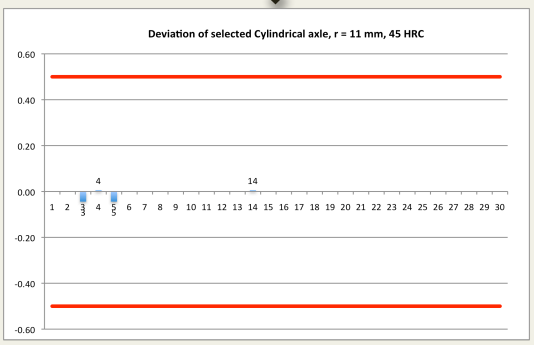


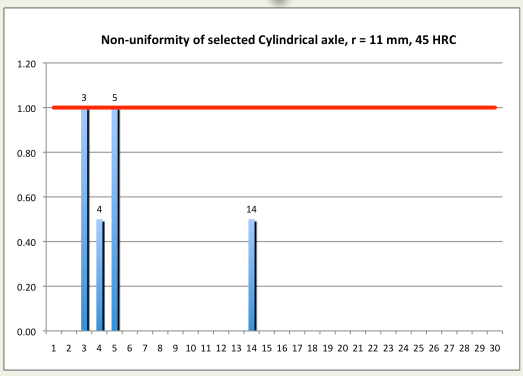


Cylindrical axle radius 11 mm, 45 HRC

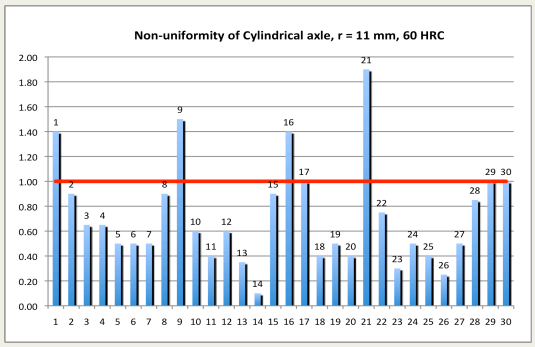


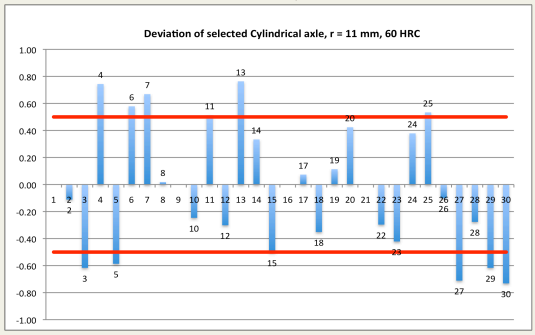


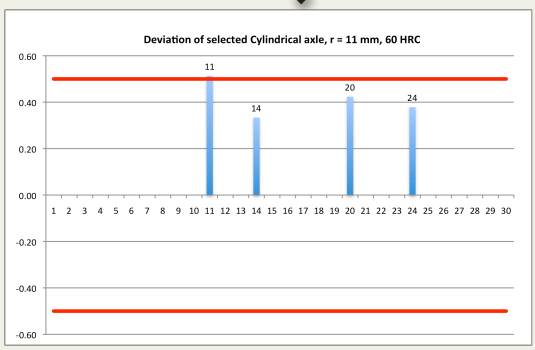


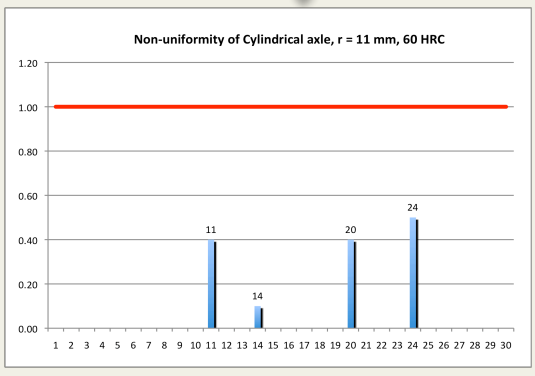


Cylindrical axle radius 11 mm, 60 HRC

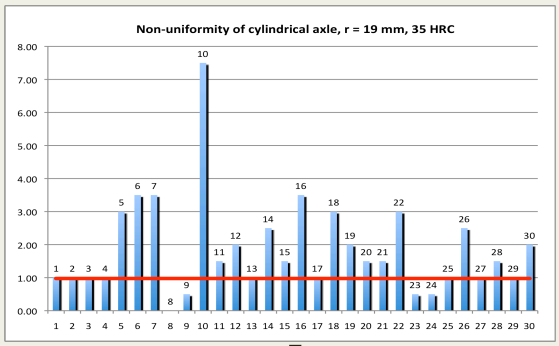


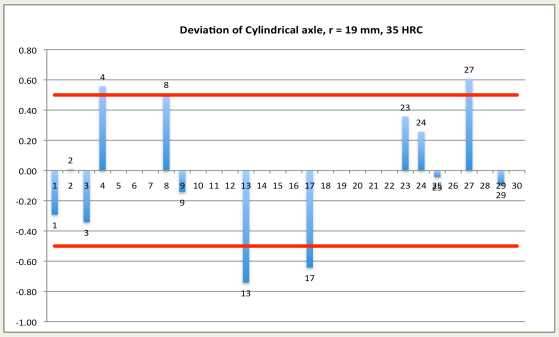


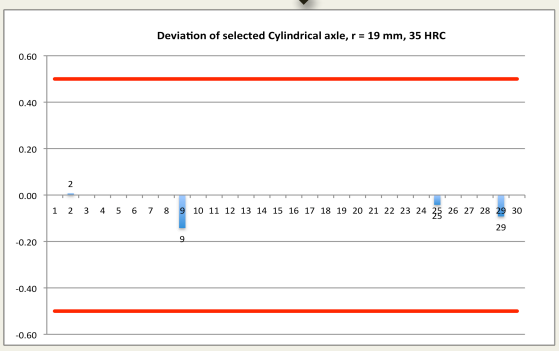


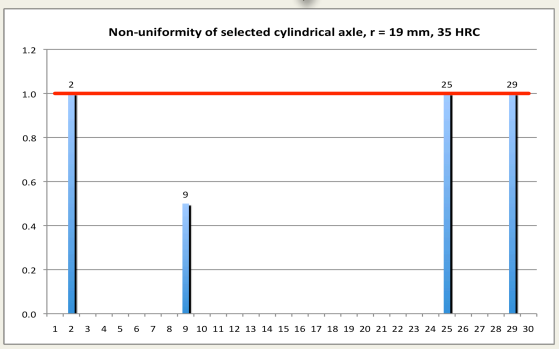


Cylindrical axle radius 19 mm, 35 HRC

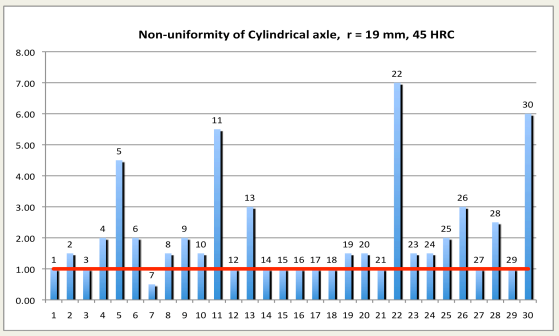


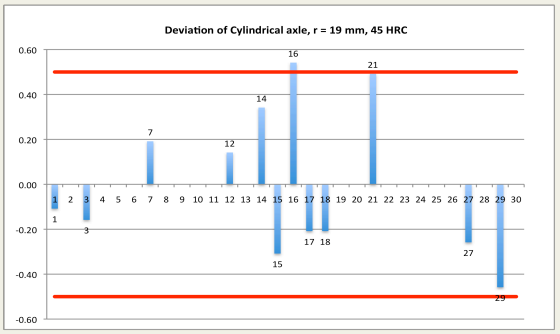


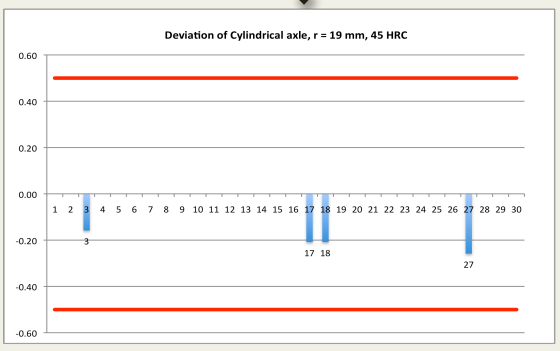


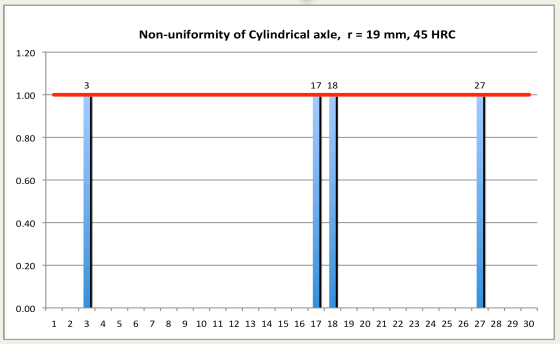


Cylindrical axle radius 19 mm, 45 HRC

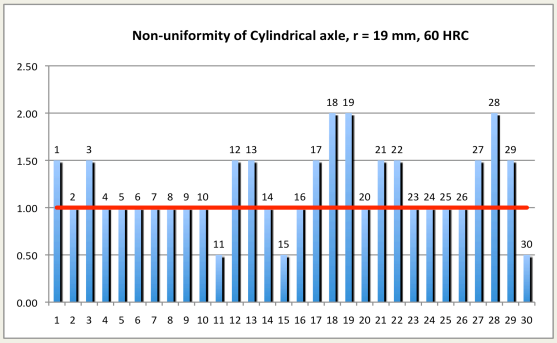


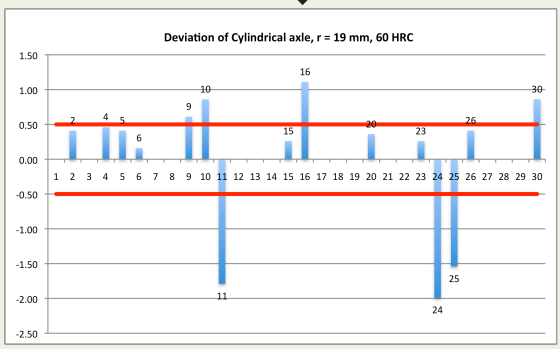


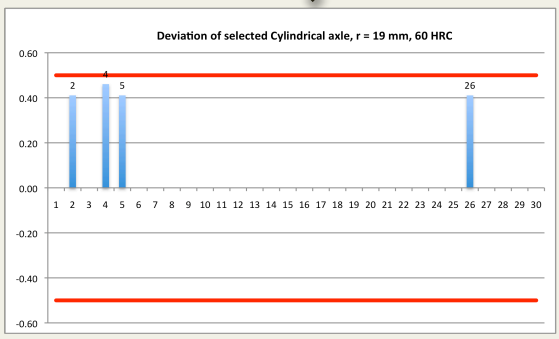


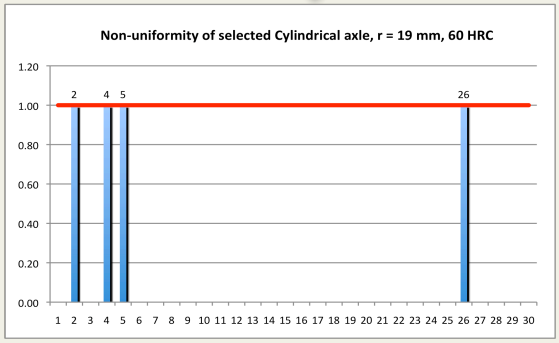


Cylindrical axle radius 19 mm, 60 HRC









3. Participants

There were 4 participants requested to join the comparison and reviewed the protocol. The information of participants was shown in protocol MH02.
The code numbers were set for each participant in order to show the comparison result as the secret. The codes were 1-02, 2-02 and 3-02.

4. Circulation of Artifacts

4.1 Reference Hardness Block:
The time schedule of the measurement was suitable shifted as in Table 2.

4.2 Cylindrical axle artifact:
The artifacts were measured by pilot laboratory and then distributed to the participants in during August to September 2008.

3. ผู้เข้าร่วมเปรียบเทียบการวัด

มีห้องปฏิบัติการที่แสดงเจตจำนงค์ และร่วม review protocol ทั้งหมด 4 ราย รายละเอียดของผู้เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดได้แสดงอยู่ใน protocol MH02
ผู้เข้าร่วมได้ถูกกำหนดรหัสแบบสุ่ม เพื่อใช้ในการแสดงเปรียบเทียบผลการวัด และรหัสดังกล่าวจะถูกเก็บเป็นความลับ
มีรหัสดังนี้ 1-02, 2-02 และ 3-02

4. Circulation of Artifacts

4.1 กรณี Reference Hardness Block:
ช่วงระยะเวลาได้ถูกเลื่อน ตามความเหมาะสม โดยมีรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ 2

4.2 กรณี Artifact ชิ้นงานรูปทรงกระบอก:
Artifact ดังกล่าว จะถูกวัดค่าโดย Pilot Laboratory แล้วกระจายสู่ participant ในช่วงเดือน สิงหาคม ถึงกันยายน 2551

Table 2 Time schedule of the measurement

No. ลำดับ	Laboratory ห้องปฏิบัติการ	Time of measurement เวลาการวัด
1	NIMT สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	4-8 Aug 2008
2	Somboon Advance Technology Public Co.,Ltd. บ. สมบูรณ์แอดวานซ์เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)	18-22 Aug 2008
3	Industrial Metrology and Testing Service Centre ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (วว.)	25-29 Aug 2008
4	King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (KMITNB) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	1-5 Sep 2008
5	NIMT สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	8-12 Sep 2008

5. Stability of Artifacts

Only artifact that was compared with round robin test, reference hardness block, was monitored its stability. Where as cylindrical axle artifacts were ignored to monitor their stability. The drifts were shown in Fig 3.

From the monitoring result, the drift in Hardness during round robin test was 0.07 HRC. It was not significant comparing to the before- and after-measurement uncertainty, therefore it was not considered in the uncertainty budget.

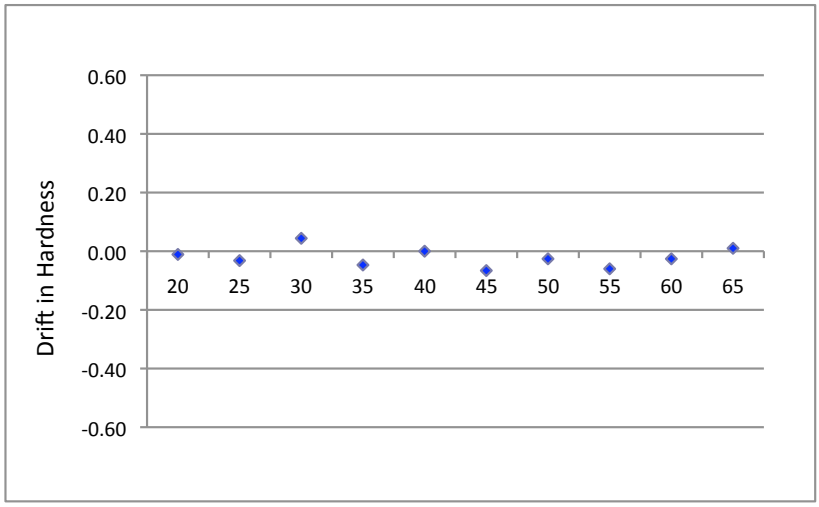
5. Stability of Artifacts

การเฝ้าระวัง Stability ของ Artifact จะกระทำเฉพาะชิ้นงานที่มีการเปรียบเทียบโดยวิธีการ Round Robin Test เท่านั้น นั่นคือ Reference hardness block ยกเว้น Artifact ชนิดเพลาทรงกระบอก

ค่าความต่างของผลการวัดก่อนและหลัง ได้แสดงอยู่ใน Fig.3

จากผลการเฝ้าระวัง มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระหว่างการทำ Round Robin Test อยู่ที่ 0.07 HRC ซึ่งไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ ความไม่แน่นอนของผลการวัดของก่อนและหลังดังกล่าว จึงไม่ พิจารณา Drift ดังกล่าว ใน Uncertainty Budget

Fig. 3 The stability of the block artifact



6. Transportation

NIMT was the center for distributing the artifact to the participants according to the time schedule. The block artifacts blocks were contained in the aluminum box for transportation. The technical protocol of the comparison, indentation-positioning sheet of each participant and checklist of artifact were attached with the artifacts in the aluminum boxes as well. The cylindrical axle artifacts were coated by the oil and wrapped by the plastic sheet for rust protecting.

6. Transportation

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติเป็นศูนย์กลาง ในการรับและส่งคืน Artifact ให้เป็นไปตามตารางเวลาเปรียบเทียบผลการวัด กรณี block artifact นั้น ได้บรรจุในกล่องอลูมิเนียมสำหรับการขนส่ง ทั้งนี้ภายในกล่องก็ได้แนบ technical protocol, indentation-positioning sheet และ checklist of artifact ลงไปด้วย และสำหรับ Cylindrical axle นั้น จะมีการเคลือบด้วยน้ำมัน แล้วห่อด้วยแผ่นพลาสติกใสเพื่อป้อง กันสนิม ระหว่างการขนส่ง

Fig.4: Block artifact and its positioning sheet

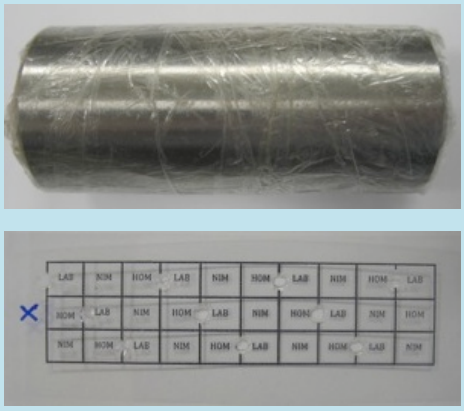


Fig.5: Cylindrical axle artifact and its positioning sheet

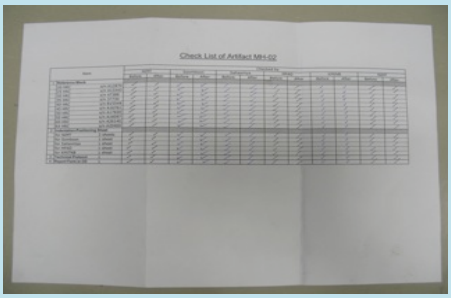


Fig.6: Checklist of artifacts

7. Measurement result

The participants measured the artifacts and evaluated the uncertainty according to "Measurement Procedure" and "Result Evaluation" described in protocol MH02.
Measurement results of each laboratory were shown in Annex III. All measurement data and uncertainty of all participants and pilot laboratory were presented in Table 3, 4 and Table 5, 6, respectively.

7. Measurement result

ห้องปฏิบัติการได้ทำการวัด และประเมิน uncertainty of meaurement ตามหัวข้อ Measurement Procedure และ Result Evaluation ที่ระบุใน Protocol MH02
Measurement result ของแต่ละห้องปฏิบัติการ ถูกแสดงอยู่ใน Annex III. และผลสรุป แสดงดังตารางที่ 3, 4 และ ตารางที่ 5, 6 สำหรับผู้เข้าร่วม และ Pilot Laboratory ตามลำดับ

The measurement data and uncertainty of block artifacts, cylindrical axle artifact and sheet artifact reported by the participants are listed in Table 3 and 4, respectively.

Table 3 The result of block artifact

Nominal	Measurement data of each participant (HRC)			Uncertainty (k=2) of each participant (HRC)		
	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
20	19.56	20.18	19.82	1.87	0.42	1.74
25	25.19	25.58	25.06	1.79	0.42	1.74
30	30.12	30.06	29.62	1.74	0.41	1.74
35	35.32	35.52	34.98	1.75	0.43	1.74
40	40.36	40.52	39.86	1.76	0.44	1.75
45	45.38	45.28	44.78	1.74	0.42	1.74
50	50.23	50.2	49.78	1.74	0.41	1.75
55	55.26	55.4	54.86	1.75	0.41	1.74
60	60.02	59.98	59.66	1.74	0.42	1.75
65	64.52	64.44	63.98	1.74	0.41	1.74

Table 4 The result of cylindrical axle artifact

Radius of axle	Nominal	Measurement data of each participant (HRC)			Uncertainty (k=2) of each participant (HRC)		
(mm)	(HRC)	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
	35	32.05	32.59	32.55	1.74	0.75	1.74
5	45	51.15	51.15	50.73	1.76	0.63	1.74
	60	60.52	61.06	60.13	1.75	0.93	1.74
	35	36.28	37.05	35.89	1.77	0.43	1.75
11	45	45.90	46.22	45.71	1.77	0.45	1.74
	60	63.18	63.31	62.71	1.76	0.92	1.74
	35	38.65	39.36	38.09	1.78	0.57	1.74
19	45	48.65	49.06	47.98	1.76	1.31	1.74
	60	63.32	63.35	62.61	1.75	0.44	1.74

Table 5 The reference value and uncertainty of Block artifact

Nominal	reference value (HRC)			U xref (k=2)		
	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
20	20.20	20.20	20.20	0.37	0.37	0.37
25	25.44	25.44	25.44	0.38	0.38	0.38
30	29.99	29.99	29.99	0.37	0.37	0.37
35	35.34	35.34	35.34	0.38	0.38	0.38
40	40.28	40.28	40.28	0.39	0.39	0.39
45	44.99	44.99	44.99	0.38	0.38	0.38
50	49.99	49.99	49.99	0.37	0.37	0.37
55	55.25	55.25	55.25	0.38	0.38	0.38
60	59.93	59.93	59.93	0.37	0.37	0.37
65	64.18	64.18	64.18	0.37	0.37	0.37

Table 6 The reference value and uncertainty of Cylindrical axle artifact

Radius of axle	Nominal	Reference value of artifact for each participant			U xref (k=2)		
(mm)	(HRC)	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
	35	31.98	32.56	32.14	0.37	0.38	0.38
5	45	51.40	50.58	51.47	0.38	0.37	0.38
	60	60.26	60.25	60.31	0.37	0.38	0.37
	35	36.54	36.91	36.59	0.39	0.38	0.38
11	45	46.16	45.96	45.95	0.38	0.38	0.40
	60	63.31	63.49	63.32	0.38	0.37	0.38
	35	39.08	39.38	38.86	0.44	0.41	0.42
19	45	48.59	48.88	48.74	0.38	0.38	0.40
	60	63.33	63.37	63.31	0.42	0.43	0.39

8. Analyzing method of comparison results

The comparison results were calculated in accordance with ISO/IEC GUIDE 4-1: 1997 and ISO/IEC GUIDE 43-2: 1997 "Proficiency Testing by the Interlaboratory Comparisons". The objective is to determine the deviation form the reference value and E_n number by the following expressions:

1) Deviation, *d*

$$d = x_i - X_{ref}$$

Where: x_i = the measured value of participants
X_{ref} = the reference value that provided by NIMT

2) E_n numbers

$$E_n = \frac{x_i - X_{ref}}{\sqrt{U^2_{(x_i)} + U^2_{(X_{ref})}}}$$

Where: $U_{(x_i)}$ = the expanded uncertainty of a participant's result
$U_{(x_{ref})}$ = the expanded uncertainty of a NIMT's result

The E_n numbers were considered as follows
- The comparison results are satisfactory if $|E_n| \le 1$.
- The comparison results are unsatisfactory if $|E_n| > 1$.
- The measurement system should be investigated when $0.5 \le |E_n| \le 1$.

9. Comparison results

The deviations from the reference value of and E_n numbers were shown in Table 7-8. The comparison graphs categorized in a type of artifact were shown in Fig. 7-8 and the graphs categorized in each laboratory were shown in Fig. 9-11.

8. Analyzing method of comparison results

ผลการเปรียบเทียบการวัดนั้น คำนวณโดยใช้แนวทางของ ISO/IEC GUIDE 4-1: 1997 และ ISO/IEC GUIDE 43-2: 1997 "Proficiency Testing by the Interlaboratory Comparisons" โดยจุดประสงค์ก็คือ ต้องการหาค่าเบี่ยงเบนผลการวัดจาก reference value และหา E_n number ดังการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

1) Deviation, *d*

$$d = x_i - X_{ref}$$

โดย: x_i = the measured value of participants
X_{ref} = the reference value that provided by NIMT

2) E_n numbers

$$E_n = \frac{x_i - X_{ref}}{\sqrt{U^2_{(x_i)} + U^2_{(X_{ref})}}}$$

โดย: $U_{(x_i)}$ = the expanded uncertainty of a participant's result
$U_{(x_{ref})}$ = the expanded uncertainty of a NIMT's result

การพิจารณาค่า E_n numbers เพื่อสรุปผลการเปรียบเทียบผลการวัด มีหลักเกณฑ์ดังนี้
- The comparison results are satisfactory if $|E_n| \le 1$.
- The comparison results are unsatisfactory if $|E_n| > 1$.
- The measurement system should be investigated when $0.5 \le |E_n| \le 1$.

9. Comparison results

ค่าการเบี่ยงเบนผลการวัดจาก reference value และ E_n numbers ถูกแสดงโดยรวม ในตารางที่ 7–8 และ ถูกแสดงโดยจำแนกตามประเภทของ Artifact ดังกราฟในรูปที่ 7–8 และถูกแสดงโดยจำแนกแต่ละห้องปฏิบัติการดังกราฟใน รูปที่ 9-11

Table 7 The deviation from reference value and E_n numbers of Block artifact

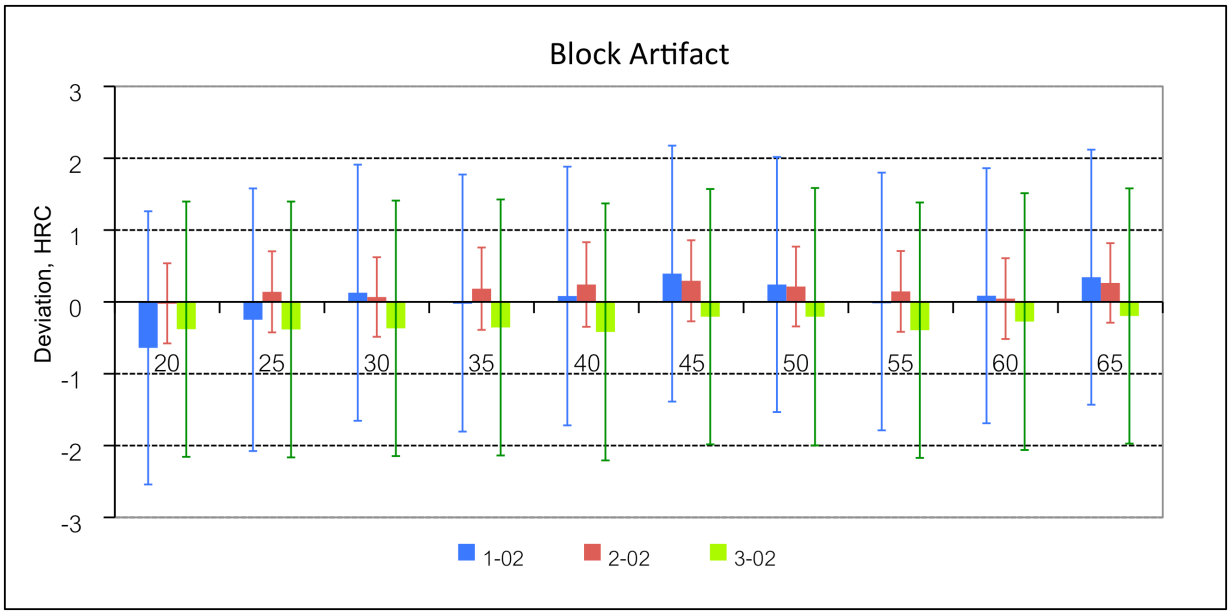
Nominal	Deviation from reference value (HRC)			Uncertainty of Deviation(k=2)			E_n numbers		
(HRC)	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
20	-0.64	-0.02	-0.38	1.90	0.56	1.78	-0.34	-0.04	-0.21
25	-0.25	0.14	-0.38	1.83	0.56	1.78	-0.14	0.25	-0.22
30	0.13	0.07	-0.37	1.78	0.55	1.78	0.07	0.12	-0.21
35	-0.02	0.18	-0.36	1.79	0.57	1.78	-0.01	0.32	-0.20
40	0.08	0.24	-0.42	1.80	0.59	1.79	0.05	0.41	-0.23
45	0.39	0.29	-0.21	1.78	0.56	1.78	0.22	0.52	-0.12
50	0.24	0.21	-0.21	1.78	0.56	1.79	0.14	0.39	-0.11
55	0.01	0.15	-0.39	1.79	0.56	1.78	0.00	0.26	-0.22
60	0.09	0.05	-0.27	1.78	0.56	1.79	0.05	0.08	-0.15
65	0.34	0.26	-0.20	1.78	0.55	1.78	0.19	0.48	-0.11

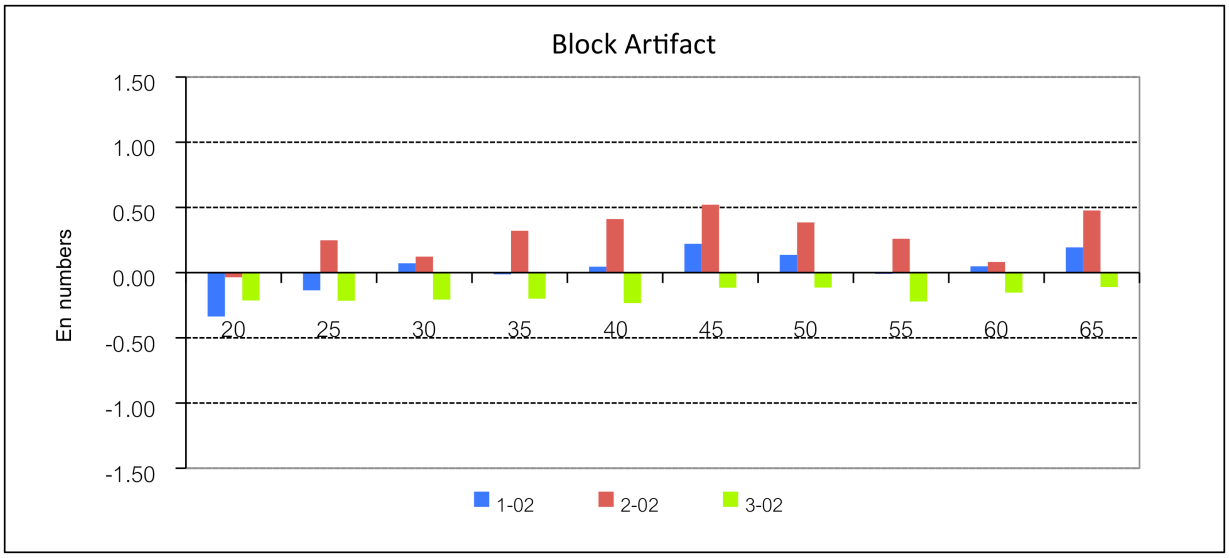
Table 8 The deviation from reference value and E_n numbers of Cylindrical axle artifact

Radius of axle	Nominal	Deviation from ref. value			Uncertanty of deviation (k=2)			En numbers		
(mm)	(HRC)	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02	1-02	2-02	3-02
5 mm	35	0.07	0.03	0.41	1.78	0.84	1.78	0.04	0.04	0.23
	45	-0.25	0.57	-0.74	1.80	0.73	1.78	-0.14	0.78	-0.42
	60	0.26	0.81	-0.18	1.79	1.00	1.78	0.14	0.81	-0.10
11 mm	35	-0.26	0.14	-0.70	1.81	0.57	1.79	-0.14	0.25	-0.39
	45	-0.27	0.26	-0.24	1.81	0.59	1.78	-0.15	0.45	-0.14
	60	-0.13	-0.17	-0.61	1.80	0.99	1.78	-0.07	-0.18	-0.34
19 mm	35	-0.43	-0.02	-0.77	1.83	0.70	1.79	-0.24	-0.03	-0.43
	45	0.06	0.18	-0.76	1.80	1.37	1.79	0.03	0.13	-0.42
	60	0.00	-0.02	-0.70	1.80	0.62	1.78	0.00	-0.03	-0.39

Block Artifacts

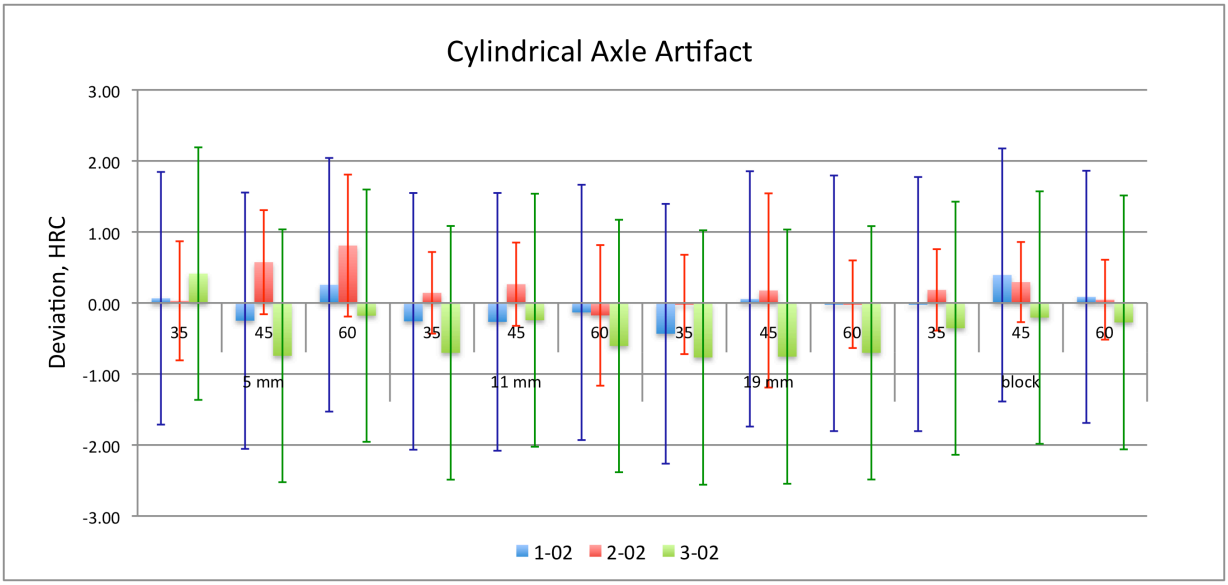
Fig.7 The overview of the deviation from the reference value and E_n numbers of Block artifacts





Cylindrical axle Artifacts

Fig. 8 The overview of the deviation from the reference value and E_n numbers of Cylindrical axle artifacts



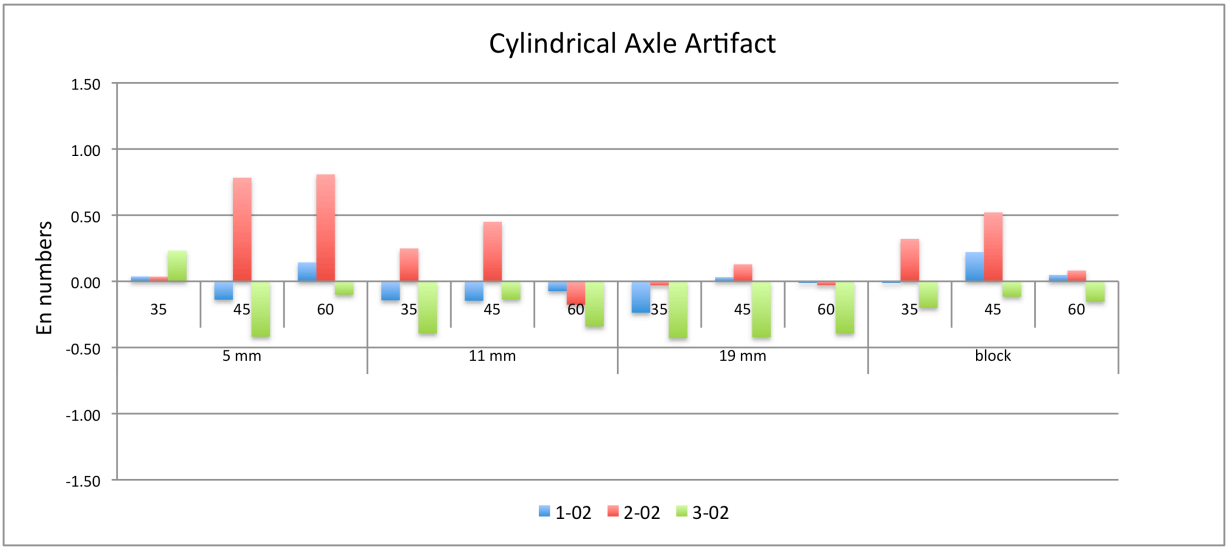


Fig. 9 Deviation from the reference value and E_n numbers of all artifacts of participant 1-02

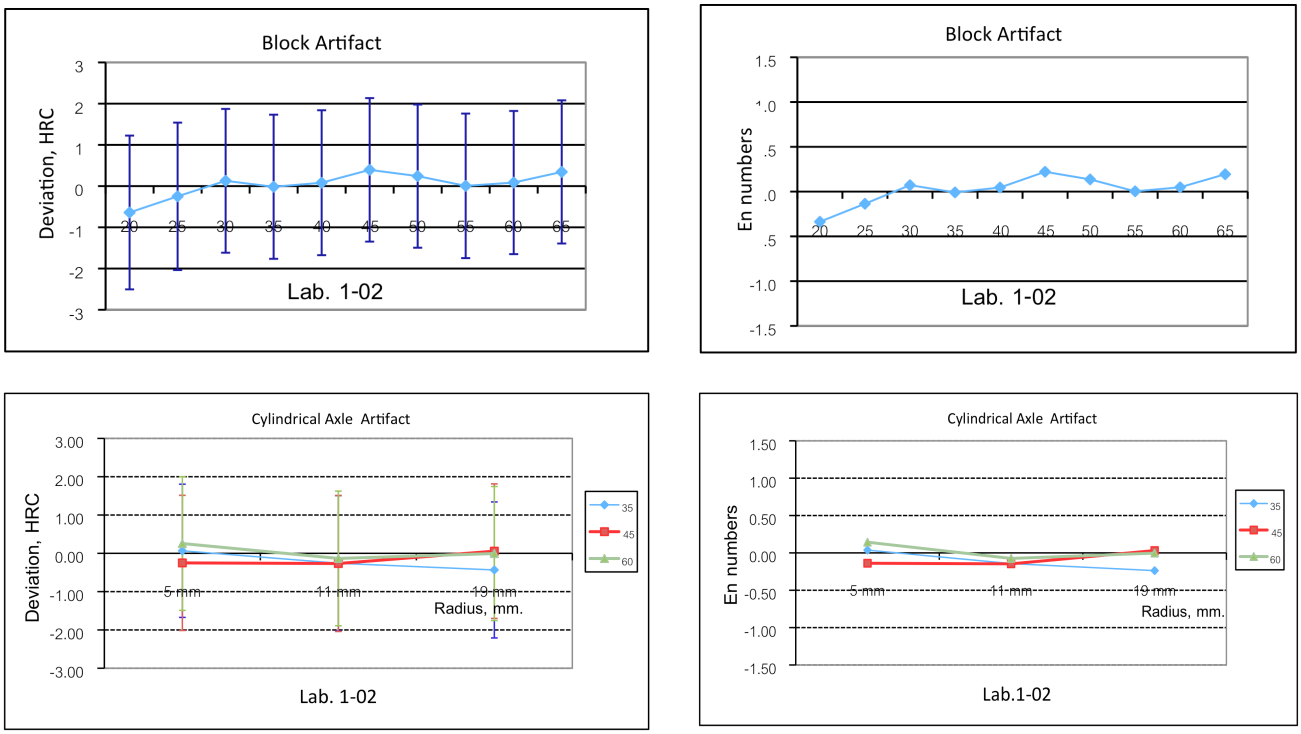


Fig. 10 Deviation from the reference value and E_n numbers of all artifacts of participant 2-02

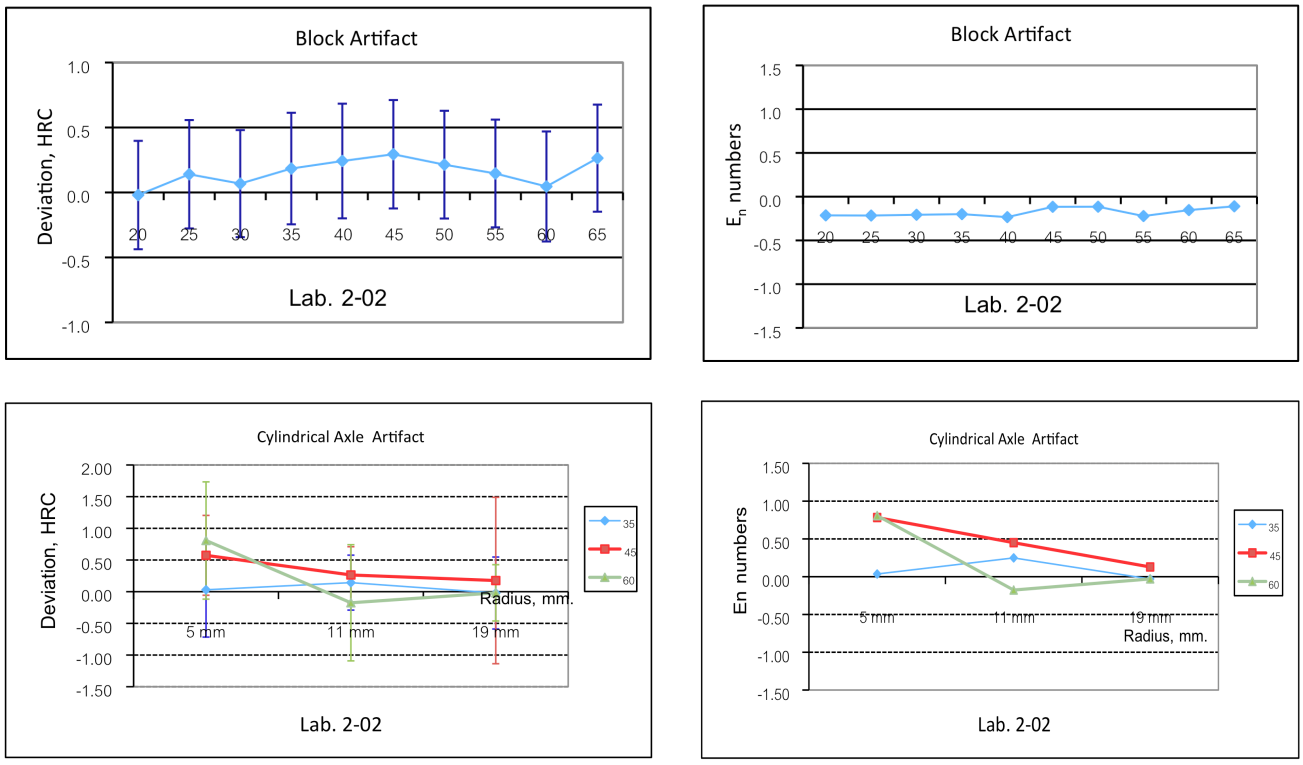
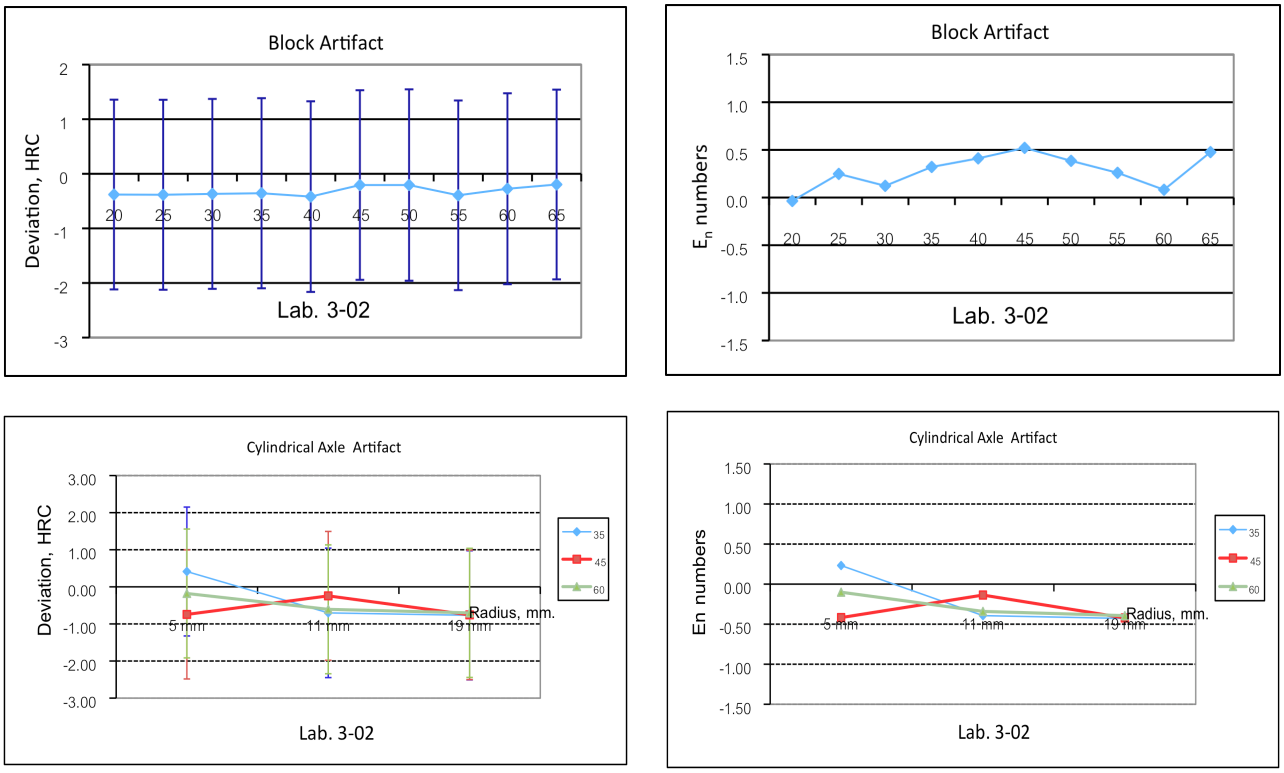


Fig. 11 Deviation from the reference value and E_n numbers of all artifacts of participant 3-02



10. Conclusion

From the comparison result, it was found that the results of block artifact gave the smaller deviation from the reference value than cylindrical axle artifact, at the same nominal hardness value.

In case of block artifact, the deviation from the reference value was within -0.64 HRC to 0.39 HRC. The range of E_n numbers was between -0.34 to 0.52.

In case of cylindrical axle artifact, the measurement result was affected by the diameter more than by hardness value. We found that the measurement of smaller-diameter cylindrical axle gave the larger error than the bigger-diameter cylindrical axle. The deviation from the reference value was within -0.77 HRC to 0.81 HRC. The range of E_n numbers was between -0.43 to 0.81.The possible cause of the deviation might be the misalignment between the indenter and the test piece. It could probably be reduced by more appropriate alignment between elevating shaft and the indenter.

Therefore the competence of the laboratories should be declared not only with the comparison result of reference hardness block, but to cover all test application, i.e., cylindrical axle etc., which was serviced by each laboratory.

10. Conclusion

จากผลการเปรียบเทียบ พบว่าการวัด Block artifact เบี่ยงเบนจาก Reference value น้อยกว่า ชิ้นงานเพลาทรงกระบอก ที่ค่าความแข็งเดียวกัน

ในกรณีของ Block artifact ค่าเบี่ยงเบนจาก Reference value นั้นอยู่ระหว่าง -0.64 HRC ถึง 0.39 HRC และค่า E_n numbers นั้นอยู่ระหว่าง -0.34 ถึง 0.52

ในกรณีของ ชิ้นงานเพลาทรงกระบอก พบว่าการวัดความแข็งของชิ้นงานเพลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า มีความผิดพลาดมากกว่าชิ้นงานเพลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า การวัดค่าเบี่ยงเบนจาก Reference value นั้นอยู่ระหว่าง -0.77 HRC ถึง 0.81 HRC และค่า E_n numbers นั้นอยู่ระหว่าง -0.43 ถึง 0.81 ความเบี่ยงเบนนั้นอาจเกิดเนื่องจาก การ alignment ระหว่าง indenter และ ชิ้นงานทดสอบที่ไม่ดี อาจแก้ไขได้โดยการทำการ alignment elevating shaft และ indenter ให้เหมาะสม

ดังนั้นความสามารถในการวัดความแข็งของห้องปฏิบัติการไม่ใช่ แค่ทำการยืนยัน ด้วยผลการทำการเปรียบเทียบการวัดความแข็ง ของ Reference block เท่านั้น แต่ควรครอบคลุมถึง Test piece application ต่าง ๆ ที่ให้บริการโดยห้องปฏิบัติการนั้นๆ เช่น การวัดชิ้นงานเพลาทรงกระบอก เป็นต้น

References (เอกสารอ้างอิง)

[1] ISO 6508-3: Metallic materials-Rockwell hardness test-Part 3: Calibration of reference blocks (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
[2] GUM: Guide to the Expression of "Uncertainty in Measurement"; edition 1993, corrected and reprinted 1995, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
[3] EA10/16; EA Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurement
[4] ISO/IEC 43:1997: Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons
[5] ASTM E826-85; Standard Practice for Testing Homogeneity of Materials for Development of Reference Materials
[6] Final Report on Supplementary Comparison No. APMP.M.H-S1
7] Technical Protocol of Interlaboratory Comparison on Hardness Measurement, Rockwell Scale C (MH02)

Annex I: Technical Protocol of Interlaboratory Comparison on Hardness Measurement, Rockwell Scale C (MH02) (Issued on 21 July 2008)

Content

	Page
1. Introduction	1
2. Artifacts	1
3. Participants	3
4. Transportation	4
5. Measurement procedure	5
6. Result evaluation	9
7. Data report	13
Measurement report forms	14
Report form 1	15
Report form 2	16
Report form 3	18
References	19
Annex A An example of data reporting	20

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
2. ตัวกลางเปรียบเทียบ	1
3. ผู้เข้าร่วมเปรียบเทียบการวัด	3
4. การขนส่ง	4
5. ขั้นตอนการทำการวัด	5
6. การประเมินผลการวัด	9
7. การรายงานผลการวัด	13
แบบรายงานผลการวัด	14
แบบรายงานผลการวัด1	15
แบบรายงานผลการวัด2	16
แบบรายงานผลการวัด3	18
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก A ตัวอย่างการรายงานผลการวัด	20

1. Introduction

Resulting from the meeting of Hardness Club establishment on 21 December 2007, the club members all agreed to organize the activity of proficiency testing through the interlaboratory comparison of the measurement of Rockwell hardness scale B, Rockwell hardness scale C and the calibration of Rockwell hardness testing machine.

The purpose of this technical protocol is to guide the participant in order to carry out the comparison with the harmonized measurement procedure and to confirm the best measurement capability (BMC) of Rockwell hardness scale C measurement,which declared by the participant.

From the meeting of hardness club, National Institute of Metrology (Thailand) or NIMT is requested to be the pilot laboratory and the reference laboratory of the comparison.

Due to their capability and reputation of the material testing, NIMT invited Industrial Metrology and Testing Service Centre to be the co-pilot laboratory of the comparison

2. Artifacts

To cover the activities of calibration laboratories, 2 types of artifacts are selected for the comparison, a reference hardness block and a cylindrical axle.

Reference Hardness Block Artifact:

The set of block artifact is composed of 10 hardness blocks; 20 HRC, 25 HRC, 30 HRC, 35 HRC, 40 HRC, 45 HRC, 50 HRC, 55 HRC, 60 HRC, 65 HRC. The dimensions of the blocks are 65 mm in diameter and 15 mm in thickness. The blocks are manufactured by Asahi Giken Co.,Ltd. Japan.

1. บทนำ

จากการประชุมจัดตั้งชมรมความแข็งขึ้น ในวันที่ 21 ธันวาคม 2550 ทางสมาชิกมีความเห็นตรงกันที่ต้องการให้มีกิจกรรมทดสอบความสามารถ (Proficiency Testing) โดยวิธีเปรียบเทียบผลการวัด (Interlaboratory Comparison) ในพารามิเตอร์ การวัดความแข็ง Rockwell scale B, การวัดความแข็ง Rockwell scale C และการสอบเทียบเครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell

แบบแผนการเปรียบเทียบ (Protocol) ผลการวัดฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ใช้เป็นแนวทางดำเนินการในแนวทางเดียวกัน และเป็นการนำไปสู่การยืนยันความสามารถ ของห้องปฏิบัติการนั้นๆ ในผลการวัดความแข็ง Rockwell scale C ดังที่แต่ละห้องปฏิบัติการได้แสดง BMC (Best Measurement Capabilities) ไว้

ในที่ประชุมชมรมความแข็ง, ห้องปฏิบัติการความแข็งสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติได้รับเกียรติให้เป็นผู้ดำเนินการจัดการเปรียบเทียบผลการวัด (Pilot Laboratory) และใช้ค่าผลการวัด เป็น Reference value

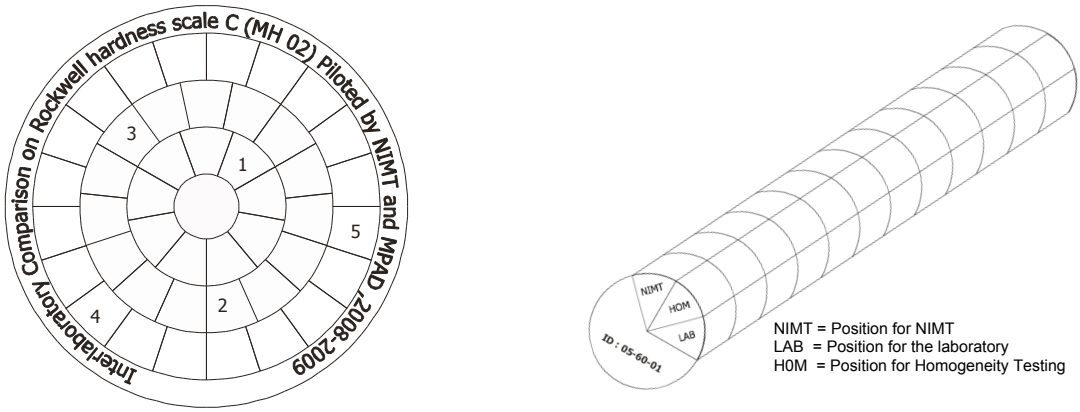
เนื่องจากความสามารถและชื่อเสียงทางด้านงานทดสอบวัสดุ สถาบันมาตรฯจึงได้เชิญ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุมาร่วมเป็นผู้ดำเนินการจัดร่วมการเปรียบเทียบผลการวัด (Co-Pilot Laboratory) ในครั้งนี้อีกด้วย

2. ตัวกลางเปรียบเทียบ

เพื่อให้ครอบคลุมกิจกรรมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและทดสอบความ แข็ง Rockwell scale C Artifacts จึงถูกจัดเป็น 2 กลุ่ม คือ Reference Hardness Block และ ชิ้นงานรูปทรงกระบอก

Reference Hardness Block Artifact:

ชุดของ Block Artifact ประกอบด้วย Hardness Block จำนวน 10 Blocks ที่ความแข็ง 20 HRC, 25 HRC, 30 HRC, 35 HRC, 40 HRC, 45 HRC, 50 HRC, 55 HRC, 60 HRC, 65 HRC โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm, ความหนา 15 mm ผู้ผลิต block คือ Asahi Giken Co.,Ltd. Japan



(a) For Block Artifact (b) For Cylindrical Axle Artifact

Fig. 1 Indentation position ตำแหน่งการกดบน Artifacts ต่างๆ

The surface of each artifact block was engraved with divided segments for indicating the indentation positions (Fig.1(a)). Each segment is used for single indentation in the comparison. The rest of the segments on the block surface are reserved as alternative places for trial and error measurements.
The plastic sheet indicating the indentation position of each participant will be prepared and shall be placed on the artifact block in order to ensure the indentation position before making the indentation.

จะมีการสลักช่องแบ่ง เพื่อกำหนดตำแหน่งของการวัด ที่ผิวของ Artifact Block (ดูรูปที่ 1) แต่ละช่องมีไว้สำหรับการกด 1 ครั้ง ส่วนช่องแบ่งที่เหลือ บนผิว Block
จะมีไว้สำหรับกรณีที่มีความผิดพลาดจากการวัด เพื่อทำการวัดในตำแหน่งที่ถูกต้อง

ควรจะวางแผ่นพลาสติกกำหนดตำแหน่งการวัดที่จัดทำสำหรับแต่ละห้อง ปฏิบัติการ ลงบน Block ก่อนที่จะทำการวัด

Cylindrical Axle Artifact:

The hardness measurement of cylindrical-shaped and machinery part sample is also the application of hardness testing according to ISO6508, ASTM E18. Therefore, the laboratory that refers those standard should perform the competence of the measurement of such samples.
The cylindrical axles of 5 mm (with hardness value of 25, 45 and 60 HRC), 11 mm (with hardness value of 25, 45 and 60 HRC) and 19 mm (with hardness value of 25, 45 and 60 HRC) in radius are prepared as the cylindrical-shaped artifacts.
The surface area of artifact will be spared for comparison and for homogeneity investigation. The outline of indentation position on the cylindrical axle artifact is shown in Fig.1(b).

Cylindrical Axle Artifact:

การวัดความแข็งของชิ้นงานรูปทรงกระบอก และ ชิ้นส่วน เครื่องกล เป็น Application หนึ่ง ตามมาตรฐาน ISO6508, ASTM E18 ห้องปฏิบัติการวัดและทดสอบความแข็งที่ยืนยันความสามารถตามมาตรฐานดังกล่าว ควรแสดงความสามารถในการวัดชิ้นงานเหล่านี้ด้วย
ชิ้นงานทรงกระบอก ถูกจัดทำให้มี รัศมีขนาด 5 mm (ที่ความแข็ง 25, 45 และ 60 HRC), 11 mm (ที่ความแข็ง25, 45 และ 60 HRC) และ 19 mm (ที่ความแข็ง 25, 45 และ 60 HRC)
พื้นที่ผิวของชิ้นงานรูปทรงกระบอก จะถูกแบ่งสำหรับทำการเปรียบเทียบผลการวัด และสำหรับตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของชิ้นงาน
รูปที่ 1(b) แสดงตำแหน่งของการวัดบนผิวชิ้นงานรูปทรงกระบอก

Homogeneity investigation of Artifact

To ensure the homogeneity of every single Artifact submitted to participating laboratories in this Proficiency Testing program, the cylindrical axle artifact is subjected to homogeneity investigation in hardness parameter. The pilot laboratory is responsible for this investigation using methodology according to ASTM E826-85. The investigation is aimed to confirm the homogeneity of the whole piece of each artifact and also to confirm the homogeneity of artifact in the group.

For the comparison, we need 12 pieces of artifact for each hardness level. With this number, it is possible to investigate all pieces of specimen. Therefore we select the investigation method that all of samples in the lot will be checked instead of sampling. The specimen shall not be less than 30 pieces for each lot. Then the satisfied piece will be selected as the artifact.

In case of the lot does not satisfy the tolerance or there are less then 12 pieces of satisfied pieces in the lot, it will be canceled and the new lot will be procured for the next investigation.

The tolerance is as follow:

• Non-uniformity of each piece of specimen ≤ 1 HRC.

• The deviation of the group of selected specimen shall not deviate from their mean ≤ ± 0.5 HRC

การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของ Artifact

เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความเป็นเนื้อเดียวกันของ Artifact ทุกชิ้นซึ่งส่งไปยังแต่ละห้องปฏิบัติการ ที่เข้าร่วมในกิจกรรมทดสอบความสามารถครั้งนี้ Artifact เพลาทรงกระบอก (Cylindrical axle) จะต้องถูกตรวจสอบ ความเป็นเนื้อเดียวกันในพารามิเตอร์ความแข็ง ซึ่งจะดำเนินการ โดย Pilot laboratory โดยใช้วิธีการทดสอบและประเมินความ

เป็นเนื้อเดียวกันตามมาตรฐาน ASTM E826-85 การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันนี้ จะกระทำเพื่อดูความเป็นเนื้อเดียวกันของชิ้น Artifact ตลอดทั้งชิ้น และความเป็นเนื้อเดียวกันของทั้งกลุ่ม Artifact ที่จัดทำขึ้น

โดยในการเปรียบเทียบครั้งนี้ มีความต้องการจำนวน Artifact 12 ชิ้นต่อ 1 ค่าการเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นจำนวนที่ไม่มากเกินไปที่จะตรวจสอบทุกชิ้น ในการทำการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเลือกทำการตรวจสอบทุกชิ้นงาน แทนการสุ่ม ใน 1 กลุ่มตัวอย่าง โดยในแต่ละกลุ่มนั้น จำนวนชิ้นงานต้องไม่น้อยกว่า 30 ชิ้น จากนั้นทำการคัดเลือกชิ้นงานที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างใดๆ ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด หรือผ่านไม่ถึง 12 ชิ้นงาน จะถูกยกเลิกไปทั้งกลุ่มตัวอย่าง และจะทำการจัดหากลุ่มใหม่มาทดสอบ

โดยเกณฑ์การยอมรับเป็นดังนี้

• Non-uniformity ของแต่ละชิ้น ≤ 1 HRC

•เกณฑ์การเบี่ยงเบนของกลุ่มชิ้นงานที่ถูกเลือก จะต้องมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ≤ ±0.5 HRC

3. Participants

The participating laboratories and the contact persons with the details of mailing and electronic addresses are shown in Table 1.

4. Transportation

Each participating laboratory is responsible for its own costs for the measurement, transportation to the next participating laboratory. It needs to check the completion of the artifacts with the packing list enclosed in the case where unpacking and packing. If there is anything lost or damaged, it shall be reported to the pilot laboratory as soon as possible.

For Reference Hardness block artifact:

The artifacts will be sent from one participant to the next participant (Round Robin Test) according to a timetable 1

The pilot laboratory will make measurements in the beginning and the end of the comparison in order to evaluate the stability of the used hardness reference blocks.

For Cylindrical axle artifact:

The artifact will be prepared for each laboratory as a set. It will be measured by pilot laboratory before sending to the laboratory. After the laboratory finish the measurement, the artifact will be sent back to NIMT in order to evaluate the stability of each artifact in Report Form 2

3. ผู้เข้าร่วมทำการเปรียบเทียบการวัด

รายละเอียดของห้องปฏิบัติการ ที่เข้าร่วมทำการเปรียบเทียบนั้น แสดงอยู่ใน ตารางที่ 1

4. การขนส่ง

ห้องปฏิบัติการเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่าย ในการทำการวัด การจัดส่ง Artifact ไปยังห้องปฏิบัติการถัดไป และต้องทำการตรวจสอบความครบถ้วน ของ Artfact ก่อนและหลังการแกะกล่อง ตามใบรายการที่แนบไปกับ Artifact ถ้าพบว่าสิ่งใดหาย หรือเสียหาย ให้รายงาน Pilot Laboratory โดยเร็วที่สุด

กรณี Reference Hardness Block:

Artifact ชนิดนี้ จะถูกจัดส่งจากห้องปฏิบัติการหนึ่ง ไปยังอีกห้องปฏิบัติการ หนึ่ง (Round Robin Test) ตามตารางที่ 1

Pilot Laboratory จะทำการวัดตอนหัวและท้าย ของการทำการเปรียบเทียบ เพื่อทำการตรวจสอบ Stability ระหว่างการเปรียบเทียบผลการวัด

กรณี Cylindrical axle:

Artifact ชนิดนี้จะถูกจัดเตรียม 1 set ต่อ 1 ห้องปฏิบัติการ Artifact ทุก set จะถูกวัดค่าโดย Pilot Laboratory ก่อนจัดส่งไปยังแต่ละห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้น Artifact จะต้องถูกจัดส่งมายัง NIMT เพื่อทำการตรวจสอบ Stability ระหว่างการเปรียบเทียบผลการวัด

5. Measurement Procedure

5.1 The hardness testing machine shall be verified according to ISO 6508-2 before carrying out the comparison. The latest verification result should not over than 12 months.

5.2 The hardness testing machine shall be checked with indirect verification before carrying out the comparison. The verification result should not over than 1 month.

5.3 Clean the artifact and the hardness testing machine.

5.4 Determine the deformation of the machine's frame by using the steel ball indenter. The indentation shall be made twice without recording the result and then 3 times with recording the result in Report Form 1.

5.5 Measure the hardness value of all artifacts. The number of 5 indentations should be made with the block artifact whereas 10 indentations with the cylindrical axle artifacts by using the indentation-positioning sheet.

5.6 Report all data and average result of each artifact in Report Form 2

Note: In case the participant makes an incorrect indentation or the measurement value is unsure, the spare segments on the block shall be used. The new position of measurement shall be informed to the next participant and the pilot laboratory immediately.

Any deviations of the measurement procedure from ISO6508-1 and ISO6508-2 must be reported.

5. ขั้นตอนการทำการวัด

5.1 Hardness Testing Machine จะต้องถูกทวนสอบ (Verification) ตาม ISO 6508-2 ก่อนการดำเนินการเปรียบเทียบผลการวัด ไม่ควรนานเกิน 12 เดือน

5.2 Hardness Testing Machine จะต้องถูกตรวจสอบความถูกต้องของเครื่อง ในรูปแบบของ Indirect Verification ก่อนการดำเนินการเปรียบเทียบ ผลการวัด ไม่ควรนานเกิน 1 เดือน

5.3 ทำความสะอาด Artifact และ Hardness Testing Machine

5.4 ตรวจสอบ Deformation of the Machine Frame โดยเปลี่ยนหัว Indenter เป็น Steel Ball Indenter และทำการกดทิ้งบนชิ้นงานใดๆ อย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นให้รายงานผลใน Report Form 1

5.5 วัดค่าความแข็งของ Artifact กระทำ Repeat สำหรับ Reference Block 5 ครั้ง, Cylindrical Axle Artifact 10 ครั้ง ตาม Positioning Sheet ที่จัดให้

5.6 รายงานผลการวัดทั้งหมด และค่าเฉลี่ยของแต่ละ Artifact ใน Report Form 2

Note:ในกรณีที่ห้องปฏิบัติการทำการวัดผิดพลาด หรือไม่แน่ใจในผลการวัด สามารถทำการกด Indentation ใหม่ได้โดยใช้พื้นที่ Spare บน Block และต้องรายงานตำแหน่ง Indentation ใหม่ให้ห้องปฏิบัติการถัดไป และ Pilot Laboratory โดยเร็วที่สุด

ถ้ามีสิ่งใดแตกต่างจากข้อกำหนดของ ISO6508-1 และ ISO6508-2 ห้องปฏิบัติการ ต้องทำการรายงานด้วย

Table 1 Participants of the interlaboratory comparison

ตารางที่ 1 ผู้เข้าร่วมทำการเปรียบเทียบการวัด

No.	Laboratory ห้องปฏิบัติการ	Contact Details ข้อมูลติดต่อ	
1	NIMT สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	Ms.Rugkanawan Kongkavitool คุณรัคณาวรรณ คงคาวิทูร E-mail: Rugkanawan@hotmail.com Phone: 02 577 5100 ext 2239 Fax: 02 577 5095	National Institute of Metrology (Thailand) 3/4-5 Moo 3, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120 สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 3/4-5 หมู่ที่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
2	Somboon Advance Technology Public Co.,Ltd. บ. สมบูรณ์แอดวานซ์เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)	Mr.Prawit Laosang คุณประวิทย์ เหล่าแสง E-mail: Prawit.l@somboon.co.th Phone: 038 959065-72 ext 5131 081 553 8352 Fax: 038 959 064	Somboon Advance Technology Public Co.,Ltd. 300/10 Eastern Seaboard Industrial (Rayong) Moo 1 Tasit Pluakdaeng Rayong 21140 300/10 หมู่ที่ 1 นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง 21140
3	Material Properties Analysis and Development Centre ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (วว.)	Ms. Duang Unpanich คุณดวงพร อุนพานิช E-mail: Kinokoja@yahoo.com Phone: 02 577 9272 Fax. 02 577 4160-1	Material Properties Analysis and Development Centre 35 Moo 3 Technopolis, Klong 5, Klong Luang Pathumthani 12120 ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (วว.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 เทคโนธานี ถ.เลียบคลองห้า ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
4	King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (KMITNB) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	AP. Somnuk รศ. สมนึก วัฒนศรียกุล E-mail: Smn@kmitnb.ac.th Phone: 081 753 0575 Fax. 02 587 1208	King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (KMITNB) 1518 Phiboolsongkram Rd. Bangsue, Bangkok 10800 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพิบูลย์สงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Table 2 Detailed timetable of the comparison (Block Artifact)

ตารางที่ 2 ตารางเวลาทำการเปรียบเทียบการวัด (กรณี Block Artifact)

No. ลำดับ	Laboratory ห้องปฏิบัติการ	Time of measurement เวลาการวัด
1	NIMT สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	4-8 Aug 2008
2	Somboon Advance Technology Public Co.,Ltd. บ. สมบูรณ์แอดวานซ์เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)	18-22 Aug 2008
3	Industrial Metrology and Testing Service Centre ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (วว.)	25-29 Aug 2008
4	King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (KMITNB) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	1-5 Sep 2008
5	NIMT สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	8-12 Sep 2008

In case of cylindrical Axle, the participants shall pick it from NIMT during 15-19 September 2008 and return them back within 30 September 2008.

กรณี Artifact ชิ้นงานรูปทรงกระบอก ให้ผู้เข้าร่วมการเปรียบเทียบมารับจาก สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติได้ภายในวันที่ 15-19 กันยายน 2551 และส่งคืนภายในวันที่ 30 กันยายน 2551

6. Result Evaluation

The estimation of measurement uncertainty based on the principles is introduced in the GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [2]. Therefore each participant shall calculate the uncertainty of the resulting value for the measurement carried out with hardness testing machine

For the accredited laboratory, it shall report its own uncertainty budget evaluation. However, at least the following influence quantities shall be included

- Hardness Testing Machine, H_{hm}
- Resolution of Hardness Testing Machine, H_{res}
- Repeatability of Measurement, H_{rep}

For the laboratory that does not have its own uncertainty evaluation, the following example could be used as the guideline.

An example of the uncertainty evaluation

-Measured hardness, H_{mh}

Measured hardness value, H_{mh} and its uncertainty are evaluated with mathematical model (1) which combined of H_{hm}, ΔH_{hm}, δH_{rep} and H_{res}.

$$H_{mh} = H_{hm} + \Delta H_{hm} + \delta H_{rep} + \delta H_{res} \qquad (1)$$

where

H_{hm} is hardness machine

ΔH_{hm} is correction value

δH_{rep} is repeatability of measurement

H_{res} is resolution of hardness machine

The standard uncertainty of hardness measurement, H_{mh} is obtained by the law of propagation of uncertainty in the approximation of non-correlated variables:

$$u_{mh} = \sqrt{u_{hm}^2 + u_{\Delta hm}^2 + u_{rep}^2 + u_{res}^2} \quad (2)$$

6. การประเมินผลการวัด

GUM (Guide to the Expression o Uncertainty in Measurement) [2] แนะนำว่าควรทำการประเมิน Uncertainty ของผลการวัดอย่างมีหลักการ ดังนั้นแต่ละห้องปฏิบัติการควรทำการประเมิน Uncertainty ของผลการวัด โดย Hardness Testing Machine

ในกรณีที่ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองหรือ มีวิธีการประเมิน Uncertainty เป็นของตนเอง ต้องแสดง Uncertainty Budget ที่ประเมินโดยวิธีของตนเองด้วย แต่ต้องคำนึงถึง Influence Quantities อย่างน้อยดังนี้

- Hardness Testing Machine, H_{hm}
- Resolution of Hardness Testing Machine, H_{res}
- Repeatability of Measurement, H_{rep}

ในกรณีที่ในกรณีที่ห้องปฏิบัติการไม่ได้มีวิธีการประเมิน Uncertainty เป็นของตนเอง สามารถใช้ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ตัวอย่างการประเมิน Uncertainty

-Measured hardness, H_{mh}

ค่าความแข็งที่วัดได้ และ Uncertainty ของมัน สามารถคำนวณโดยใช้ Mathematical Model (1) ที่เป็นการรวมระหว่าง H_{hm}, ΔH_{hm}, δH_{rep} และ H_{res}

$$H_{mh} = H_{hm} + \Delta H_{hm} + \delta H_{rep} + \delta H_{res} \qquad (1)$$

เมื่อ

H_{hm} คือ Hardness testing machine

ΔH_{hm} คือ Correction value

δH_{rep} คือ Repeatability of measurement

H_{res} คือ Resolution of hardness testing machine

ทำการหา Standard Uncertainty ของการวัด โดยใช้กฎของ Propagation of Uncertainty กับการประมาณค่า non-correlated Variables:

$$u_{mh} = \sqrt{u_{hm}^2 + u_{\Delta hm}^2 + u_{rep}^2 + u_{res}^2} \quad (2)$$

where

u_{mh} is the measured hardness value

u_{hm} is the standard uncertainty of hardness machine

u_{rep} is the standard uncertainty of measured hardness due to repeatability

u_{res} is the uncertainty due to resolution of the primary hardness machine

-Hardness machine, H_{hm}

The standard uncertainty of hardness machine H_{hm} is obtained from the calibration certificate with normal distribution. Measurement result is calculated as below:

$$H_{hm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i}{n} \qquad (3)$$

where

H_i is the series of observation of hardness measurement

An example of measurement result determination is following table3.

เมื่อ

u_{mh} คือ Uncertainty of measured hardness value

u_{hm} คือ Standard uncertainty of hardness testing machine

u_{rep} คือ Standard uncertainty of measured hardness due to repeatability

u_{res} คือ Uncertainty due to resolution of the hardness testing machine

-Hardness machine, H_{hm}

Standard Uncertainty of Hardness machine H_{hm} หาจาก calibration certificate โดยใช้การกระจายแบบ normal distribution สามารถคำนวณ ผลการวัดได้ดังต่อไปนี้

$$H_{hm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i}{n} \qquad (3)$$

เมื่อ

H_i คือ อนุกรมการสังเกตผลการวัดค่าความแข็ง

ตัวอย่างการคำนวณสามารถดูได้จากตารางที่ 3

Table 3 An example of measurement result and repeatability calculation

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณผลการวัด และ Repeatability

No.	Measured hardness value H_i,HRC
1	50.55
2	50.56
3	50.58
4	50.59
5	50.55
H_{mh}	50.57
S.D.(H)	0.018
u_{rep}	0.009

Note: t = 1.14 for n=5

-Correction Value, ΔH_{hm}

The correction value of hardness testing machine ΔH_{hm} is obtained from the calibration certificate and the interpolation. It is estimated with rectangular distribution.

-Resolution of hardness machine, H_{res}

Resolution of hardness machine H_{res} is define by the finite numerical reading of hardness machine that is equal to 0.01 HR unit.
No correction value is applied. Therefore, the standard uncertainty of H_{res} is estimated to be ± 0.003 HR unit with rectangular distribution.

-Repeatability of measurement, u_{rep}

Repeatability of measurement u_{rep} is determined by using the series of observation. The measurement is carried out 5 measurements on designated sector of reference hardness block. It is expressed as below:

-Correction Value, ΔH_{hm}

ค่า Correction value ของ Hardness testing machine ΔH_{hm} ได้มาจาก Calibration Certificate และการทำ Interpolation (เพื่อหาค่า Correction ของจุดที่ไม่ได้ทำการสอบเทียบ) มีการกระจายแบบ Rectangular distribution

-Resolution of hardness machine, H_{res}

Resolution ของ Hardness testing machine H_{res} นิยามโดยจำนวนตัวเลขที่อ่านได้ละเอียดที่สุด โดย Hardness testing machine ซึ่งเท่ากับ 0.01 HR unit
ไม่มีการใช้ Correction value, Standrad Uncertainty ของ H_{res} จึงเท่ากับ
± 0.003 HR unit ซึ่งมีการกระจายแบบ Rectangular distribution

-Repeatability of measurement, u_{rep}

Repeatability ของการวัดสามารถหาจากอนุกรมการวัด ตัวอย่างเช่น ถ้าทำการวัด 5 ครั้ง จะสามารถคำนวณ Repeatability ได้ดังนี้

$$u_{rep} = \frac{t \times S.D.(H)}{\sqrt{n}} \qquad (4)$$

with

$$S.D.(H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(H_i - \overline{H})^2}{n-1}} \qquad (5)$$

where

t is student T factor at $n = 5$ ($t = 1.14$ for $n = 5$)

$S.D.(H)$ is standard deviation is calculated from is the series of observation of hardness measurement

An example of repeatability calculation is shown in table 3.

$$u_{rep} = \frac{t \times S.D.(H)}{\sqrt{n}} \qquad (4)$$

เมื่อ

$$S.D.(H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(H_i - \overline{H})^2}{n-1}} \qquad (5)$$

เมื่อ

t คือ Student T factor ที่ $n = 5$ ($t = 1.14$ for $n = 5$)

$S.D.(H)$ คือ Standard Deviation ที่คำนวณจากอนุกรมการวัด

ตัวอย่างการคำนวณ Repeatability สามารถดูได้จากตารางที่ 3

Table4 An example of uncertainty budget of hardness measurement

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางการคำนวณ Uncertainty ของผลการวัด

Quantity X_i	Estimated value x_i	standard uncertainty u(x_i)	Distribution	Sensitivity Coefficient C_i	Uncertainty contribution $u_i(H)$
Hardness machine, H_{hm}	50.57HRC	0.185	Normal	1	0.185
Correction Value, ΔH_{hm}	0HRC	0.115	Rectangular	1	0.115
Resolution of primary hardness machine, H_{res}	0HRC	0.003	Rectangular	1	0.003
Repeatability of measurement, H_{rep}	0HRC	0.009	Normal	1	0.009
		Combined uncertainty, u_c			0.22
Measured hardness,H_{mh}	50.57HRC	Expanded uncertainty, U_e k = 2			0.44

Reported result (รายงานผล) = 50.57 ± 0.44 HRC

7. Data Report

7.1 Please give a characteristics description of your Rockwell hardness machine, your standard indenter, testing condition and environmental information in Report Form1.

7.2 Please fill your measurement results for each indentation and the uncertainty of measurement of block artifact and cylindrical axle artifact in Report Form 2.

7.3 Please give the uncertainty budget of your measurement in Report Form 3.

See Annex A: An example of data reporting

7. การรายงานผลการวัด

7.1 กรุณากรอกรายละเอียด ข้อมูลของ Rockwell Hardness Testing Machine, Standard Indenter, Testing Condition และ Environmental Condition ของห้องปฏิบัติการตนเอง ลงใน “Report Form 1: คุณสมบัติของ Hardness Testing Machine”.

7.2 กรุณากรอกผลการวัดของทุกหลุมกด (Indentation) และ Uncertainty ของการวัด Block Artifact และ Cylindrical Axle Artifact ลงใน “Report Form 2: ผลการวัด และ Uncertainty”.

7.3 กรุณาใส่ Uncertainty Budget ลงใน “Report Form 3: Uncertainty Budget”.

ดังตัวอย่างใน “Annex A: ตัวอย่างการรายงานผล”

Measurement Report

OF

Interlaboratory Comparison on Hardness Measurement, Rockwell Scale C (MH02)

Laboratory:

Participant code:

Address:

Measurement date:

Measured by:	**Checked by:**
(Signature)	**(Signature)**
Typed Name	**Typed Name**

Report Form 1: Description of Hardness Testing Machine

คุณสมบัติของ Hardness Testing Machine

Standard Equipment (เครื่องมือมาตรฐาน)	
Model of hardness testing machine (รุ่นของเครื่องวัดความแข็ง)	
Serial number of hardness testing machine (หมายเลขเครื่องวัดความแข็ง)	
Manufacturer of hardness testing machine (ผู้ผลิตเครื่องวัดความแข็ง)	
Uncertainty of hardness testing machine (ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องวัดความแข็ง)	
The best measurement capability (BMC) (ความสามารถในการสอบเทียบและการวัด)	

Testing condition (เงื่อนไขในการวัด)

Preliminary Test Force F_0 (แรง Preliminary)			
Total Test Force F (แรง Total)			
Holding time of preliminary test force T_0 (ช่วงระยะเวลาของแรง Preliminary)			
Application of Total Test Force T_{0-1} (ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการ Apply จากแรง Preliminary ไปยังแรง Total)			
Total test force duration time T_1 (ช่วงระยะเวลาของแรงTotal)			
Serial number of the diamond indenter (หมายเลขหัวกด indenter)			
The tip radius of curvature of the diamond indenter (รัศมีความโค้งของปลายหัวกด indenter)			
The apex angle of cone of the diamond indenter (มุมยอดของหัวกด indenter)			
Deformation of frame (μm or HRC) (การยุบตัวของ Frame เครื่อง)	1	2	3

Environment of comparison measurement (สภาวะแวดล้อมในการวัด)

Measurement place (สถานที่ทำการวัด)	
Measurement date (วันที่ทำการวัด)	
Environment (สภาวะแวดล้อมในการวัด)	

Report Form 2:Result and Uncertainty of the Measurement: *For Block Artifact*

ผลการวัดและ Uncertainty ของ Block Artifact

	Measured Value									
Hardness Block Number	A12870	A13343	47388	37730	B15549	A16761	A17830	A18097	A26140	A20469
Nominal Value (HRC)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Indentation 1										
Indentation 2										
Indentation 3										
Indentation 4										
Indentation 5										
Average Value										
S.D.										
Correction Value										
Corrected Value										
Expanded uncertainty (k=2)										

Report Form2 - Result and Uncertainty of the Measurement: *For Cylindrical Axle Artifact*

ผลการวัด และ Uncertainty ของ Artifact ชิ้นงานทรงกระบอก

	Measured value								
Radius of Cylindrical Axle	5 mm			11 mm			19 mm		
Nominal Value (HRC)	25	45	60	25	45	60	25	45	60
ID									
Indentation 1									
Indentation 2									
Indentation 3									
Indentation 4									
Indentation 5									
Indentation 6									
Indentation 7									
Indentation 8									
Indentation 9									
Indentation 10									
Average Value									
S.D.									
Correction Value									
Corrected Value									
Expanded uncertainty (k=2)									

Report Form3 - Uncertainty Budget

Quantity X_i	Estimated value x_i	standard uncertainty u(x_i)	Distribution	Sensitivity Coefficient C_i	Uncertainty contribution $u_i(H)$
Hardness machine, H_{hm}	HRC				
Resolution of primary hardness machine, H_{res}	HRC				
Repeatability of measurement, H_{rep}	HRC				
etc……..					
		Combined uncertainty, u_c			
Measured hardness,H_{mh}	HRC	Expanded uncertainty, U_e		k = 2	

References (เอกสารอ้างอิง)

[1] ISO 6508-3: Metallic materials-Rockwell hardness test-Part 3: Calibration of reference blocks (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
[2] GUM: Guide to the Expression of "Uncertainty in Measurement"; edition 1993, corrected and reprinted 1995, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
[3] EA10/16; EA Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurement
[4] ISO/IEC 43:1997: Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons
[5]ASTM E826-85; Standard Practice for Testing Homogeneity of Materials for Development of Reference Materials

Annex A An example of data reporting

(ภาคผนวก A ตัวอย่างการรายงานผลการวัด)

Measurement Report

OF

Interlaboratory Comparison on Hardness Measurement, Rockwell Scale C (MH02)

Laboratory: National Institute of Metrology (Thailand)

Participant code:

Address: 3/4-5 Moo 3, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120
Tel.: (662) 5775100 Fax: (662) 5775095

Measurement date:

Measured by:	Checked by:
(Signature)	(Signature)
Tassanai Sanponpute	Veera Tulasombut

Report Form 1: Description of Hardness Testing Machine

คุณสมบัติของ Hardness Testing Machine

Standard Equipment (เครื่องมือมาตรฐาน)	
Model of hardness testing machine (รุ่นของเครื่องวัดความแข็ง)	SHT-31
Serial number of hardness testing machine (หมายเลขเครื่องวัดความแข็ง)	310039
Manufacturer of hardness testing machine (ผู้ผลิตเครื่องวัดความแข็ง)	Akashi
Uncertainty of hardness testing machine (ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องวัดความแข็ง)	± 0.40 HRC
The best measurement capability (BMC) (ความสามารถในการสอบเทียบและการวัด)	± 0.37 HRC

Testing condition (เงื่อนไขในการวัด)

Preliminary Test Force F_0 (แรง Preliminary)	98.07 ± 0.2 N		
Total Test Force F (แรง Total)	1471.05 ± 1.47 N		
Holding time of preliminary test force T_0 (ช่วงระยะเวลาของแรง Preliminary)	2.5 ± 0.5 s		
Application of Total Test Force T_{0-1} (ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการ Apply จากแรง Preliminary ไปยังแรง Total)	1-8 s with indentation speed 33 ± 1 μm/s		
Total test force duration time T_1 (ช่วงระยะเวลาของแรงTotal)	4 ± 0.5 s		
Serial number of the diamond indenter (หมายเลขหัวกด indenter)	NA 50215		
The tip radius of curvature of the diamond indenter (รัศมีความโค้งของปลายหัวกด indenter)	200 ± 5 μm		
The apex angle of cone of the diamond indenter (มุมยอดของหัวกด indenter)	120° ± 0.1°		
Deformation of frame (μm or HRC) (การยุบตัวของ Frame เครื่อง)	1	2	3
	0.25	0.19	0.20

Environment of comparison measurement (สภาวะแวดล้อมในการวัด)

Measurement place (สถานที่ทำการวัด)	Hardness Laboratory ,NIMT
Measurement date (วันที่ทำการวัด)	dd/mm/yy
Environment (สภาวะแวดล้อมในการวัด)	22.5-22.7 °C , 50.1-51.0 %Rh

Report Form2 - Result and Uncertainty of the Measurement : *For Block Artifact*

ผลการวัด และ Uncertainty ของ Block Artifact

	Measured value									
Hardness Block Number	A12870	A13343	47388	37730	B15549	A16761	A17830	A18097	A26140	A20469
Nominal Value (HRC)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Indentation 1	20.31	25.13	30.44	35.99	40.33	45.88	50.55	55.12	60.77	65.77
Indentation 2	20.33	25.15	30.45	35.97	40.32	45.87	50.56	55.17	60.78	65.78
Indentation 3	20.32	25.17	30.50	35.98	40.34	45.89	50.58	55.15	60.79	65.79
Indentation 4	20.36	25.20	30.42	35.95	40.37	45.86	50.59	55.16	60.76	65.76
Indentation 5	20.37	25.16	30.46	35.94	40.36	45.89	50.55	55.14	60.75	65.75
Average Value	20.34	25.16	30.45	35.97	40.34	45.88	50.57	55.15	60.77	65.77
S.D.	0.026	0.026	0.030	0.021	0.021	0.013	0.018	0.019	0.016	0.016
Correction Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corrected Value	20.34	25.16	30.45	35.97	40.34	45.88	50.57	55.15	60.77	65.77
Expanded uncertainty (k=2)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Report Form2 - Result and Uncertainty of the Measurement: *For Cylindrical Axle Artifact*

ผลการวัด และ Uncertainty ของ Artifact ชิ้นงานทรงกระบอก

	Measured value								
Radius of Cylindrical Axle	5 mm			11 mm			19 mm		
Nominal Value (HRC)	25	45	60	25	45	60	25	45	60
ID	05-25-01	05-45-01	05-60-01	11-25-01	11-45-01	11-60-01	19-25-01	19-45-01	19-60-01
Indentation 1	25.14	45.53	60.96	25.26	45.48	60.59	25.67	45.15	60.30
Indentation 2	25.17	45.58	60.99	25.25	45.42	60.57	25.57	45.19	60.28
Indentation 3	25.19	45.57	60.97	25.24	45.50	60.57	25.68	45.14	60.29
Indentation 4	25.14	45.59	60.95	25.29	45.49	60.59	25.69	45.17	60.26
Indentation 5	25.16	45.55	60.94	25.26	45.46	60.55	25.59	45.18	60.26
Indentation 6	25.13	45.55	60.99	25.29	45.44	60.55	25.66	45.13	60.29
Indentation 7	25.15	45.56	60.97	25.27	45.45	60.56	25.67	45.12	60.27
Indentation 8	25.17	45.58	60.98	25.27	45.50	60.58	25.58	45.15	60.27
Indentation 9	25.20	45.59	60.95	25.29	45.42	60.59	25.65	45.16	60.29
Indentation 10	25.16	45.55	60.94	25.26	45.46	60.55	25.66	45.18	60.26
Average Value	25.16	45.57	60.96	25.27	45.46	60.57	25.64	45.16	60.28
S.D.	0.022	0.020	0.019	0.018	0.030	0.017	0.044	0.0231	0.0149
Correction Value	0	2	1	1.5	1	0.5	1	0.5	0
Corrected Value	25.16	47.57	61.96	26.77	46.46	61.07	26.64	45.66	60.28
Expanded uncertainty (k=2)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Report Form3 - Uncertainty Budget

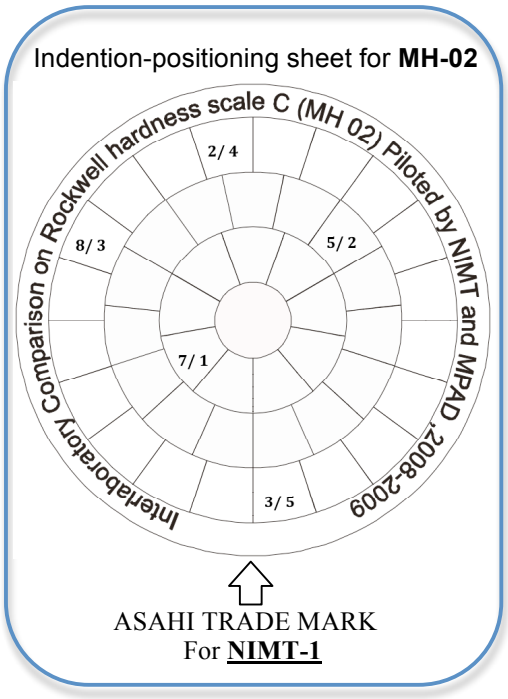
Uncertainty Budget of reference block 50 HRC, S/N: A33908

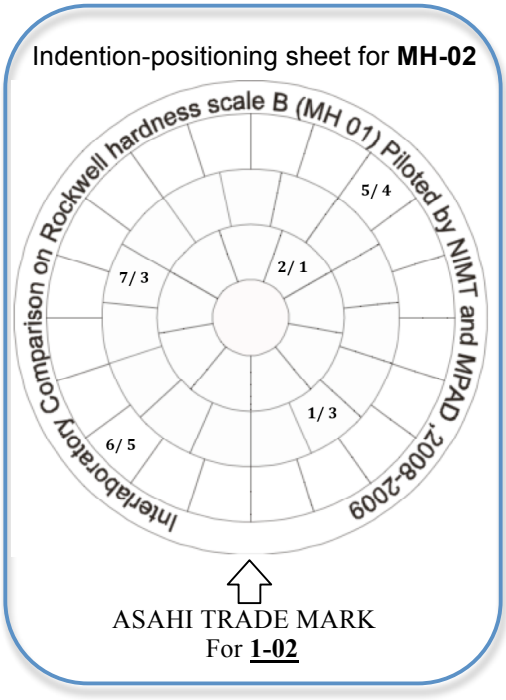
Quantity X_i	Estimated value x_i	standard uncertainty u(x_i)	Distribution	Sensitivity Coefficient C_i	Uncertainty contribution $u_i(H)$
Hardness machine, H_{hm}	50.57 HRC	0.185	Normal	1	0.185
Resolution of primary hardness machine, H_{res}	0 HRC	0.003	Rectangular	1	0.003
Repeatability of measurement, H_{rep}	0 HRC	0.009	Normal	1	0.009
		Combined uncertainty, u_c			0.185
Measured hardness,H_{mh}	55.57 HRC	Expanded uncertainty, U_e k = 2			0.370

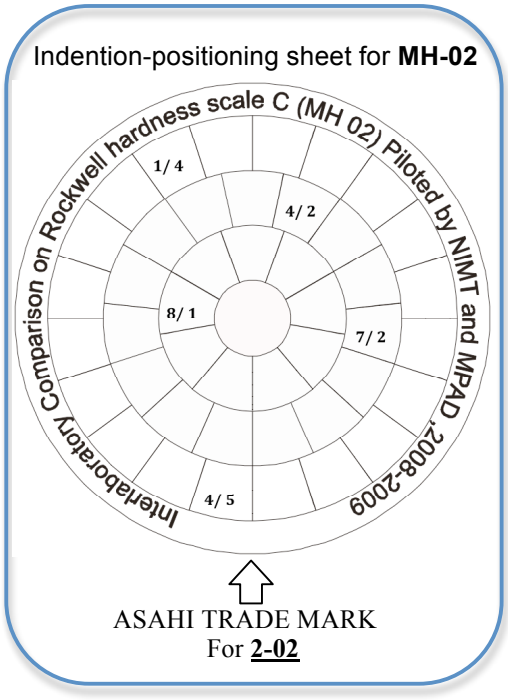
Uncertainty Budget of cylindrical axle artifact, ID: 05-60-01

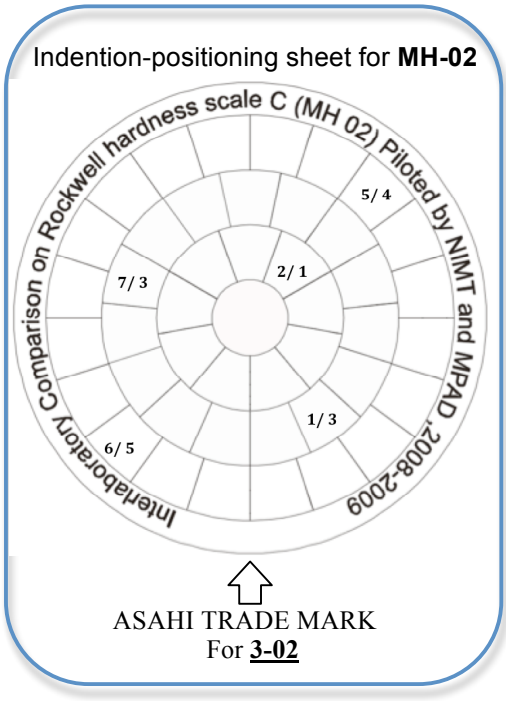
Quantity X_i	Estimated value x_i	standard uncertainty u(x_i)	Distribution	Sensitivity Coefficient C_i	Uncertainty contribution $u_i(H)$
Hardness machine, H_{hm}	60.96 HRC	0.185	Normal	1	0.185
Resolution of primary hardness machine, H_{res}	0 HRC	0.003	Rectangular	1	0.003
Repeatability of measurement, H_{rep}	0 HRC	0.006	Normal	1	0.006
		Combined uncertainty, u_c			0.185
Measured hardness,H_{mh}	80.16 HRC	Expanded uncertainty, U_e k = 2			0.370

Annex II
Indentation Positioning Sheet for Each Participant









Annex III
Non-uniformity and deviation of the artifacts

Artifact	ID of Artifact	Non-uniformity	Deviation	Tolerance		Note
				Non-uniformity	Deviation	
	05-35-01	0.60	-0.41	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-02	1.60	-0.27	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-03	0.50	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-04	0.35	-0.21	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-05	0.40	-0.25	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-06	0.50	-0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-07	0.50	0.07	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-35-08	0.75	-0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-09	0.85	0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-10	1.10	0.08	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-11	0.65	0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-12	0.60	0.06	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
Cylindrical axle	05-35-13	0.75	0.22	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 5 mm	05-35-14	0.75	0.35	1 HRC	±0.5 HRC	
35 HRC	05-35-15	0.50	0.17	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-16	0.90	-0.53	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-17	0.75	-0.31	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-18	0.85	0.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-19	1.75	-0.43	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-20	2.15	0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-21	0.75	0.19	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-22	0.65	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-23	0.50	-0.01	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-35-24	0.75	0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-25	0.40	-0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-26	0.50	-0.24	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-27	0.50	-0.02	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-35-28	0.50	-0.19	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-29	0.75	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-35-30	1.00	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-01	1.50	-0.26	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-02	0.50	-0.22	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-03	0.60	-0.39	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-04	0.60	-0.17	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-45-05	0.50	-0.66	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-06	0.65	-0.60	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-07	0.50	-0.48	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-08	0.65	-0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-09	0.60	-0.33	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-10	0.50	-0.46	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-11	1.00	-0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-12	0.65	-0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	05-45-13	0.65	-0.23	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 5 mm	05-45-14	0.50	-0.31	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
45 HRC	05-45-15	0.75	-0.31	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-16	0.50	-0.32	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-17	0.60	-0.38	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-45-18	0.75	-0.52	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-19	0.50	-0.44	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-45-20	0.50	-0.59	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-21	0.90	0.62	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-22	0.65	-0.24	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-23	0.35	-0.02	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-24	0.40	-0.20	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-25	0.75	-0.20	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-26	0.65	1.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-27	0.40	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-28	0.60	0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-29	0.50	-0.01	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-45-30	0.60	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	

Artifact	ID of Artifact	Non-uniformity	Deviation	Tolerance		Note
				Non-uniformity	Deviation	
	05-60-01	0.80	0.14	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-02	0.50	0.08	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-03	0.35	0.22	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-04	0.50	-0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-05	0.60	0.06	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-06	0.50	-0.01	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-07	0.35	0.13	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-60-08	0.25	0.10	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-60-09	0.35	0.23	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-10	0.20	0.17	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-60-11	0.50	0.17	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-12	0.40	-0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	05-60-13	0.50	-0.08	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 5 mm	05-60-14	0.40	0.05	1 HRC	±0.5 HRC	
60 HRC	05-60-15	0.40	-0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-16	0.60	-0.39	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-17	0.51	-0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-18	0.50	0.06	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-19	0.50	-0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-20	0.35	0.13	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	05-60-21	0.90	0.37	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-22	0.40	-0.17	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-23	0.40	-0.17	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-24	0.60	-0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-25	0.65	0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-26	0.50	-0.08	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-27	0.80	0.15	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-28	0.40	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-29	0.50	-0.02	1 HRC	±0.5 HRC	
	05-60-30	0.50	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-01	1.00	-0.46	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-02	1.00	0.02	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-35-03	2.00	0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-04	1.00	-0.43	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-05	2.00	0.06	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-06	1.00	-0.19	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-07	1.50	0.20	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-08	1.00	0.36	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-09	1.00	0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-10	1.00	-0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-11	5.00	-0.47	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-12	1.00	0.05	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
Cylindrical axle	11-35-13	0.50	0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 11 mm	11-35-14	1.00	0.01	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
35 HRC	11-35-15	1.00	0.42	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-16	1.50	-0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-17	0.50	0.03	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-35-18	1.50	0.23	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-19	1.50	-0.20	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-20	0.50	0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-21	1.00	0.45	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-22	1.00	-0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-23	1.00	-0.23	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-24	1.00	0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-25	1.50	0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-26	2.00	-0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-27	1.50	0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-28	1.00	0.27	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-29	1.00	-0.30	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-35-30	1.00	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	

Artifact	ID of Artifact	Non-uniformity	Deviation	Tolerance		Note
				Non-uniformity	Deviation	
	11-45-01	1.00	-0.24	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-02	1.00	-0.30	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-03	1.00	-0.06	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-45-04	0.50	-0.01	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-45-05	1.00	-0.06	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-45-06	0.50	0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-07	1.00	0.09	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-08	1.00	0.34	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-09	1.00	0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-10	1.00	-0.04	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-11	1.00	-0.19	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-12	1.00	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	11-45-13	1.00	0.25	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 11 mm	11-45-14	0.50	0.01	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
45 HRC	11-45-15	1.00	-0.14	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-16	1.00	-0.25	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-17	1.00	-0.41	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-18	2.50	0.20	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-19	1.00	0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-20	1.00	0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-21	1.00	0.49	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-22	0.50	-0.25	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-23	1.00	0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-24	1.00	0.34	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-25	1.50	0.04	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-26	1.00	-0.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-27	1.00	0.24	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-28	1.00	0.02	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-29	1.50	-0.33	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-45-30	1.50	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-01	1.40	-0.50	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-02	0.90	-0.03	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-03	0.65	-0.54	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-04	0.65	0.80	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-05	0.50	-0.50	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-06	0.50	0.65	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-07	0.50	0.77	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-08	0.90	0.15	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-09	1.50	-0.51	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-10	0.60	-0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-11	0.40	0.62	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-60-12	0.60	-0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	11-60-13	0.35	0.89	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 11 mm	11-60-14	0.10	0.52	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
60 HRC	11-60-15	0.90	-0.28	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-16	1.40	-0.61	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-17	1.00	0.23	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-18	0.40	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-19	0.50	0.27	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-20	0.40	0.60	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-60-21	1.90	0.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-22	0.75	-0.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-23	0.30	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-24	0.50	0.60	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	11-60-25	0.40	0.85	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-26	0.25	0.39	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-27	0.50	-0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-28	0.85	0.27	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-29	1.00	0.06	1 HRC	±0.5 HRC	
	11-60-30	1.00	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	

Artifact	ID of Artifact	Non-uniformity	Deviation	Tolerance		Note
				Non-uniformity	Deviation	
	19-35-01	1.00	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-02	1.00	0.19	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-35-03	1.00	-0.15	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-04	1.00	0.75	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-05	3.00	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-06	3.50	0.37	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-07	3.50	0.73	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-08	0.00	0.77	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-09	0.50	0.15	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-35-10	7.50	0.16	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-11	1.50	0.11	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-12	2.00	0.32	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	19-35-13	1.00	-0.41	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 19 mm	19-35-14	2.50	-0.29	1 HRC	±0.5 HRC	
35 HRC	19-35-15	1.50	0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-16	3.50	-1.25	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-17	1.00	-0.44	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-18	3.00	-0.57	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-19	2.00	-0.42	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-20	1.50	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-21	1.50	0.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-22	3.00	-1.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-23	0.50	0.32	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-24	0.50	0.26	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-25	1.00	0.01	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-35-26	2.50	-0.69	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-27	1.00	0.49	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-28	1.50	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-35-29	1.00	-0.10	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-35-30	2.00	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-01	1.00	0.40	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-02	1.50	-0.14	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-03	1.00	0.36	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-45-04	2.00	0.12	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-05	4.50	-0.48	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-06	2.00	-0.49	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-07	0.50	0.69	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-08	1.50	0.32	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-09	2.00	-0.27	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-10	1.50	0.17	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-11	5.50	-1.73	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-12	1.00	0.58	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	19-45-13	3.00	-0.18	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 19 mm	19-45-14	1.00	0.81	1 HRC	±0.5 HRC	
45 HRC	19-45-15	1.00	0.21	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-16	1.00	1.07	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-17	1.00	0.40	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-45-18	1.00	0.43	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-45-19	1.50	0.91	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-20	1.50	0.85	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-21	1.00	1.33	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-22	7.00	-1.72	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-23	1.50	0.56	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-24	1.50	0.44	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-25	2.00	0.87	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-26	3.00	-0.51	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-27	1.00	0.71	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-45-28	2.50	0.75	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-29	1.00	1.13	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-45-30	6.00	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	

Artifact	ID of Artifact	Non-uniformity	Deviation	Tolerance		Note
				Non-uniformity	Deviation	
	19-60-01	1.50	-1.39	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-02	1.00	0.61	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-60-03	1.50	-0.47	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-04	1.00	0.67	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-60-05	1.00	0.64	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-60-06	1.00	0.42	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-07	1.00	-1.76	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-08	1.00	-0.94	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-09	1.00	0.77	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-10	1.00	1.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-11	0.50	-1.55	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-12	1.50	0.97	1 HRC	±0.5 HRC	
Cylindrical axle	19-60-13	1.50	1.33	1 HRC	±0.5 HRC	
r= 19 mm	19-60-14	1.00	-0.69	1 HRC	±0.5 HRC	
60 HRC	19-60-15	0.50	0.51	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-16	1.00	1.40	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-17	1.50	0.65	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-18	2.00	-0.50	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-19	2.00	-0.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-20	1.00	0.75	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-21	1.50	1.22	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-22	1.50	-1.14	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-23	1.00	0.72	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-24	1.00	-1.43	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-25	1.00	-1.22	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-26	1.00	0.49	1 HRC	±0.5 HRC	selected as artifact
	19-60-27	1.50	1.01	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-28	2.00	-2.05	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-29	1.50	-0.38	1 HRC	±0.5 HRC	
	19-60-30	0.50	0.00	1 HRC	±0.5 HRC	

Annex IV

Measurement Report of the participants

(Only the Pilot Institute is authorized to access)