[논문] 열처리공학회지, 제14권 제5호(2001)
J. of the Korean Society for Heat Treatment, *Vol. 14, No. 5, (2001) pp. 275~281*

로크웰 경도 순회 비교측정 결과에 대한 분석

방건웅 · 탁내형
한국표준과학연구원 물질량표준부

Analysis on the Results of the Rockwell Hardness Round Robin Test

G. W. Bahng and N. H. Tak
Div. of Chemical Metrology and Materials Evaluation,
Korea Research Institute of Standards and Science,
#1, Doryong-dong, Yusoung-gu, Daejeon, 305-600, Korea

Abstract To improve the reliability of hardness test results, Rockwell hardness round robin test was carried out for 10 laboratories. The test condition was the same with the ISO(International Standards Organization) standards. Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS) supplied the hardness standard blocks and an indenter to laboratories for the measurement. The participating laboratories measured hardness of the specified areas on the blocks for 6 times with their own indenter as well as common indenter, respectively, and reported the results to KRISS. The result showed that quite large amount of the differences came from the indenter and it is necessary to change indenter with better quality for improved reliability in hardness measurement.

(Received April 24, 2001)

Key words: *Rockwell hardness, Round robin test, Uncertainty*

1. 서 론

세계 무역량이 증가하면서 각종 무역상품들에 대한 시험 검사 요구량도 폭증하고 있다. 이와 같은 부담을 경감하여 무역을 촉진시키고자 각국들은 상호간에 시험검사결과를 인정하는 협정(MRA, Mutual Recognition Arrangement)을 맺고 있다[1]. 이 협정의 주요 골자는 상호 적합성을 평가하여 시험 검사 결과에 대한 국가간 신뢰도를 구축하는 것이다. 적합성 평가체제의 한 축이 시험소 인정인데 국제적으로는 ILAC(International Laboratory Accreditation Conference)이, 그리고 아시아-태평양 권에서는 APLAC(Asia-Pacific Lab. Accreditation Cooperation)이 주관하고 있다. 적합성 평가체계에서 필수적으로 요구되는 내용은 국제 표준에의 소급성(traceability) 확보이다[2,3].

소급성은 "연속된 비교의 연결고리를 통하여 불확도가 명확히 기술되면서 명확한 기준(통상적으로 국가, 또는 국제표준) 에 연관되는 측정결과 또는 표준값의 특성"이라고 정의되어 있다[4]. 따라서 국제표준에 연동된 국가표준으로부터 비교과정을 거치면서 표준이 보급되는 단계에서 불확도가 확실하게 같이 전달되지 않으면 소급성을 확보한 값이라고 할 수 없다. 소급성 전달 체계를 확립하기 위하여 국제적으로는 국가표준기관 간 핵심측정표준 국제비교교정(key comparison)을 국제도량형국(BIPM, Bureau International des Poids et Mesures)과 아시아-태평양 측정학 프로그램(APMP, Asia Pacific Metrology Programme)에서 주관하여 실시하고 있고, 공인시험기관들 간에는 숙련도 시험(proficiency testing)을 ILAC이나 APLAC이 주관하여 실시하고 있다[5,6]. 로크웰 경도에 대한 핵심측정표준 국제비교교정(key comparison)은 이미 ISO/BIPM의 프로그램으로 독일의 MPA-NRW(Material Prufung-samt-Nordrheinwestfalen)에서 주관하여 1999년에 실시한 바 있으며 한국표준과학연구원(KRISS, Korea Research Institute of Standards and Science)을 포함하여 전세계 10개국 12개 기관이 참여하였다[7].

우리나라에서는 1999년 12월에 "한국공인시험검사기구"(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)가 APLAC의 다자간 시험소 상호인정협정(APLAC-MRA)에 서명함으로써 국내 공인 시험소에 대한 숙련도 시험이 중요한 사안이 되었다. 현재 APLAC-MRA에는 9개국 13개 인정기구가 가입되어 있다.

이러한 배경으로 인하여 국내에서 발행하는 시험 성적서가 국제적으로 인정되려면 발행기관의 숙련도 시험을 주기적으로 실시하여야 하고 성적서에 소급성이 확립된 불확도가 같이 명기되어야 한다. 경도 시험도 마찬가지이어서 앞으로 국내의 KOLAS 인증을 받는 기관들은 경도시험 결과를 기록할 때 불확도를 같이 명기하여야 하며 주기적으로 숙련도 시험에 참여하여 측정 결과의 소급성이 유지되고 있음을 확인하여야 한다.

이러한 국제적 흐름에 대비하고 국내 경도 시험 검사기관들의 측정 능력을 제고하면서 취약한 부분은 어디인가를 확인하기 위한 작업의 일환으로 산업계에서 가장 널리 쓰이는 로크웰 경도에 대한 순회비교교정을 실시하였다. 본 논문에서는 그 결과를 요약하여 정리하였고 참여기관들 간의 차이가 어디에서 연유하는가를 분석하여 경도 시험결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 기준편 준비 및 참여 기관

이번에 시행된 순회 측정은 기본적으로 1999년에 ISO/BIPM에서 실시한 국제비교교정과 동일한 방법으로 하였으며 일부는 우리나라의 실정에 맞도록 수정하였다. 한 예로서 국내에서 KRISS를 제외하고는 누르개(indenter)의 기하학적 형상 측정 능력을 제대로 갖춘 곳이 없으므로 누르개의 형상과 관련된 부분의 불확도 산정에 필요한 값을 사전에 제공하였다.

순회 측정에 사용한 경도 기준편은 KRISS에서 모두 준비하였으며 기준편을 그림 1과 같이 원주 및 반경 방향으로 3개 구역으로 나누어 참여 기관별로 측정 구역을 지정하였다. 각 기준편 당 측정점은 6곳으로 하였다. 시험편은 경도 범위 20~25 HRC, 40~45 HRC, 60~65 HRC 에 해당하는 것으로 3 종류를 각 2개씩 준비하였다. 또한 KRISS에서 보유하고 있는 표준 누르개를 같이 제공하여 기관별로 보유하고 있는 누르개를 사용하여 얻은 측정결과와 공통의 누르개를 사용하여 얻은 측정결과를 비교하였다. 표 1은 순회 측정에 사용된 기준편의 경도값과 불확도를 나타낸 것으로서 A조 기준편은 자체 보유 누르개를 사용하여 측정하는데 사용되었고, B조 기준편은 KRISS에서 제공한 누르개를 사용하여 측정하는데 사용되었다. 참여 기관들은 표 1의 기준 값들을 모르는 상태에서 순회측정에 참여하였다.

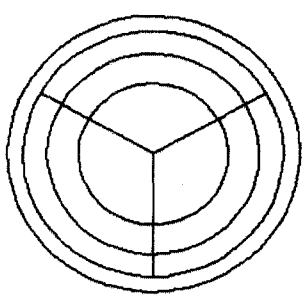

그림 1. 경도 기준편의 측정 구역 분할. (참여기관별로 각 구역마다 2개소씩 총 6회 측정)

표 1. 순회 측정용 기준편의 경도값과 불확도

기준편 구분	일련번호	경도값 (HRC)	불확도 (k=2) (HRC)	측정회수 (회)
A 조	97121293	25.60	0.12	27
	97091455	40.91	0.12	27
	99121623	61.38	0.16	27
B 조	97121285	25.22	0.16	9
	97091429	60.61	0.13	9
	99121612	61.98	0.18	9

참여 기관 중에는 경도 시험기의 지시계 교정장치(Index master)를 보유하고 있지 않은 곳이 있어 이것이 필요한 곳에는 KRISS에서 보유하고 있는 것을 활용하도록 하였다. 11개 기관이 참가를 신청하였으나 실제 보고서는 10개 기관이 제출하였다. 각 참가 기관별로 3일 동안의 시간을 배정하였으며 정해진 순서에 따라 순차적으로 시험을 실시하였다.

2.2. 시험 조건

시험 조건은 다음과 같이 통일하였다.

기준하중 유지시간; 3 초
부가하중 부하속도; 40 μm/s
시험하중 유지시간; 4 초

부하 속도는 경도 범위에 따라 압입 깊이가 다르기 때문에 별도의 조작이 필요하다. 이번 순회 측정에서는 각 시험기별로 위의 경도 범위에 해당하는 별도의 기준편을 사용하여 기준하중을 가한 다음에 이를 기점으로 하여 추가로 부가 하중을 가할 때 지시장치의 최대 눈금값을 정확도 ±1 HRC 이내로 측정하면서 동시에 부가하중을 가하는데 소요되는 시간을 측정하도록 하였다. 이

렇게 하여 얻어진 경도값을 압입 깊이로 환산하여 압입 속도를 구하였다. 이 압입 속도가 40 μm/s 가 되도록 경도 범위별로 시험기를 조작하도록 하였다.

2.3. 시험기의 직접 교정 및 불확도 계산

각 기관들에 대해 KASTO 99-30-1010-016 로크웰 경도시험기 표준 교정절차서[8]에 규정된 종합교정 방법에 따라 로크웰 경도 C 잣대에 대해 교정을 실시하고 그 결과를 바탕으로 시험기의 불확도를 계산하도록 하였다. 불확도는 교정 절차서의 교정 데이터 처리에 규정된 방법에 따르도록 하였다. 교정을 마친 다음에 KRISS에서 제공한 기준편을 대상으로 자체 보유 누르개와 KRISS 제공 누르개를 사용하여 경도를 측정한 다음에 결과를 정리하여 KRISS로 송부하도록 하였다. 참여기관의 측정자료를 토대로 숙련도 평가의 지표로 사용되는 En 값을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 자체 보유 누르개를 사용한 경우

각 기관에서 보유하고 있는 누르개를 사용하여 얻은 결과는 표 2와 같다. 그림 2는 이 결과를 그래프로 나타낸 것이며 H8 기관의 결과는 상당한 계통오차가 있음을 알 수 있다. 이 기관의 결과를 제외한 나머지에 대해 분석하여 보면 대체적으로 기준 경도값보다 낮은 쪽으로 치우치고 있다. 기관에 따라 차이가 있으나 특히 중경도 범위에서 치우침이 심하다.

기관별 데이터를 살펴보면 H8을 제외하고는 경도 범위별로 일정한 경향이 있는 것으로 보이지는 않으며 무작위적으로 양이나 음으로 치우치는 현상이 관찰된다.

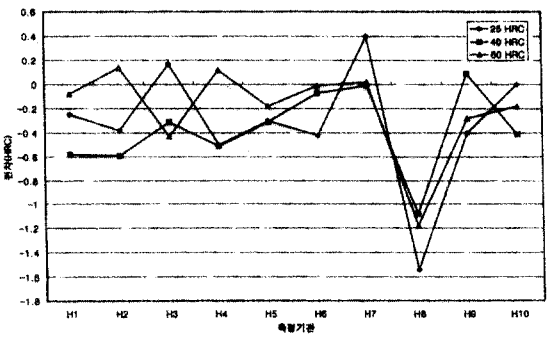

그림 2. 참여기관의 자체 보유 누르개를 사용하여 얻은 측정결과.

즉 저경도 범위에서 음으로 치우쳤다고 하여 이러한 경향이 항상 다른 경도 범위에서도 그대로 반복되지는 않는다.

기준편 경도값의 불확도와 기관별 측정 결과의 불확도를 비교하기 위하여 그림 3에 기관 평균값 및 불확도를 나타내었다. 그림 3의 (a)와 (b)에서 보듯이 저경도 및 중경도 범위에서는 일부 참여기관의 평균값이 기준편의 불확도 범위를 벗어난다. 이 경우는 비록 En 값이 1보다 작다 하여도 측정값에 대한 보정이 필요하다. 고경도 범위에서는 그림 3의 (c)에서 보듯이 평균값이 대체적으로 기준편의 불확도 범위 안에 들어온다. 따라서 저경도 영역과 중경도 영역에서 차이가 크게 나는 것을 알 수 있다.

ISO 규격에 따르면 경도 범위별 허용 오차가 ±0.5 HRC 이내이다[9]. 이를 기준으로 보았을 때 저경도 범위에서는 2개 기관, 중경도 범위에서는 3개 기관, 그리고 고경도 범위에서는 6개 기관이 이 규정을 만족한다. 전체적으로 참여기관들의 경도 측정 결과에 대한 신뢰

표 2. 참여기관의 자체 보유 누르개를 사용하여 얻은 측정 결과

참가기관	KRISS	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
25 HRC	25.60	25.35	25.22	25.77	25.10	25.30	25.18	26.00	24.06	25.20	25.60
40 HRC	40.91	40.33	40.32	40.60	40.40	40.60	40.84	40.90	39.83	41.00	40.50
60 HRC	61.38	61.30	61.52	60.95	61.50	61.20	61.37	61.40	60.20	61.10	61.20
25 HRC 편차		-0.25	-0.38	0.17	-0.50	-0.30	-0.42	0.40	-1.54	-0.40	0.00
40 HRC 편차		-0.58	-0.59	-0.31	-0.51	-0.31	-0.07	-0.01	-1.08	0.09	-0.41
60 HRC 편차		-0.08	0.14	-0.43	0.12	-0.18	-0.01	0.02	-1.18	-0.28	-0.18
확장불확도 (k=2)	0.12	0.17	0.44	0.36	0.36	0.33	0.28	0.22	0.25	0.47	0.40
확장불확도 (k=2)	0.12	0.13	0.32	0.36	0.26	0.35	0.28	0.38	0.25	0.40	0.28
확장불확도 (k=2)	0.16	0.14	0.29	0.45	0.18	0.39	0.28	0.61	0.21	0.46	0.32

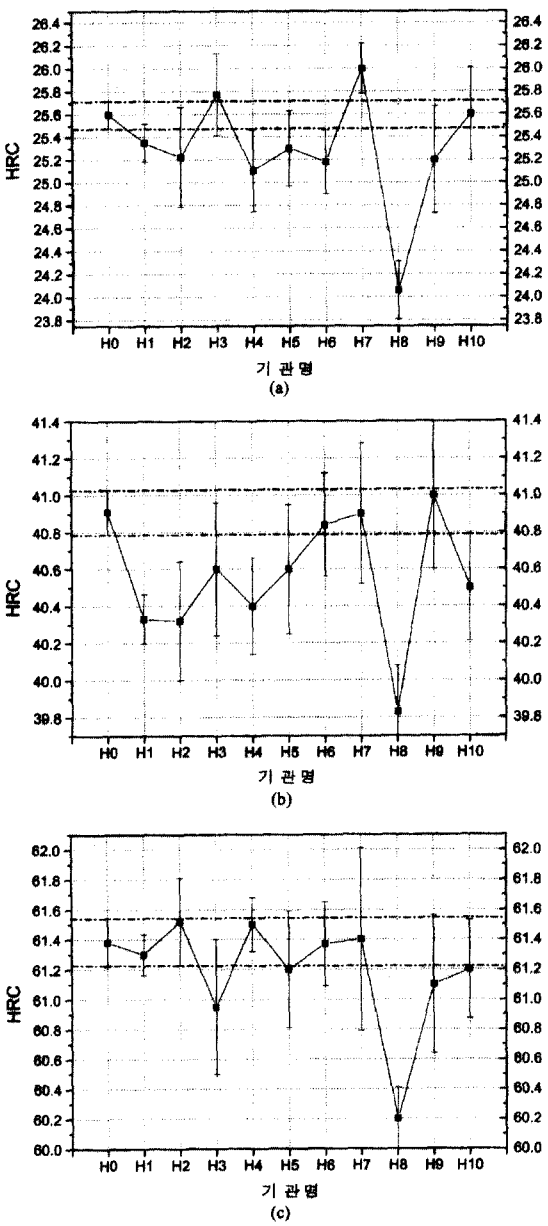

그림 3. 경도 기준값과 측정값 간의 편차 및 불확도. (그림의 폭은 경도기준편의 경도값을 기준으로 하여 95% 신뢰한계를 나타낸 것이며 각 기관의 평균값과 95% 신뢰한계에서의 불확도를 막대로 표시하였음). (a) 25 HRC, (b) 40 HRC, (c) 60 HRC

도가 매우 낮은 것으로 결론지을 수 있으며 특히 저경도 및 중경도 범위에서 더욱 그러하다.

숙련도를 평가하는 지표 중의 하나인 *En* 값은 다음의 식(1)과 같이 구하였다[5,6].

$$En = \frac{x_{\mathrm{Lab}} - X_{\mathrm{KRISS}}}{\sqrt{U_{\mathrm{LAB}}^2 + U_{\mathrm{KRISS}}^2}} \quad (1)$$

식 (1)에서 U_{LAB}은 참여기관의 불확도이며 U_{KRISS}는 *K*RISS의 불확도이다. 분모는 양 기관의 합성 불확도를 의미한다. x_{Lab}은 참여기관의 측정값이며 X_{KRISS}는 *K*RISS의 측정값으로서 분자는 참여기관의 측정값과 기준기관의 측정값 간의 차이를 의미한다. *En*이 1보다 작을 경우는 양 기관 간의 측정값 차이가 양 기관의 합성 불확도 범위 안에 들어온다는 의미이다. 이것은 시험기관의 측정결과가 합성 불확도 범위 안에서 신뢰할 수 있다는 뜻이며 따라서 숙련도를 인정할 수 있는 근거가 된다. 만약 이 차이가 합성 불확도 범위를 벗어나면 측정값의 신뢰도에 문제가 있는 것이므로 숙련도 평가는 En의 절대값이 1보다 큰지 여부가 판단 기준이 된다.

각 기관별 *En* 값을 계산한 결과를 표 3에 실었다. 자체 보유 누르개를 사용하여 얻은 결과에서는 H3, H5, H9 기관이 전 경도 범위에서 1보다 작았다. H1 기관의 경우에는 자체 불확도가 매우 작은 때문에 합성 불확도도 작게 되어 *En*값이 1을 초과한 것으로 나타났다. 따라서 숙련도를 평가하는데 있어서 *En* 값만을 기준으로 하는 것은 문제가 있을 수 있으며 불확도의 상대적 크기를 고려할 필요가 있다.

누르개를 KRISS에서 제공한 것으로 통일하여 측정한 결과는 표 3에서 알 수 있듯이 H2, H3, H5, H7, H9 기관이 전 범위에 걸쳐 1보다 작은 값을 나타내었다. 그러나 불확도는 별로 개선되지 않았으므로 이것은 기준값과 측정값 간의 차이가 줄어들었음을 의미하는 것이며 따라서 누르개로부터 오는 편차가 상당히 크다는 것을 시사한다. 다시 말하여 각 기관들이 자체 보유하고 있는 누르개의 기하학적 형상이 규격에서 크게 벗어난다는 것을 뜻한다. 실제로 경도시험의 불확도에 미치는 8개 주요 인자들 중에서 누르개의 각도 및 곡률반경과 관련된 감도계수가 가장 크다. 이것은 경도값이 누르개의 기하학적 형상에 의해 크게 좌우된다는 것을 의미한다[10].

3.2. KRISS 제공 누르개를 사용한 경우

누르개를 제외한 시험기에서 오는 불확도의 영향 정도를 평가하기 위하여 자체 보유 누르개를 KRISS에서 제공하는 누르개로 교체하여 경도를 측정하도록 하였다. 이 결과는 표 4와 같았으며 이를 그림으로 표현한 것

표 3. 참여기관별 경도 범위에 따른 En 값 계산 결과

누르개	경도 범위	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
자체 보유 누르개	25 HRC	-1.2	-0.8	0.4	-1.3	-0.9	-1.4	1.6	-5.6	-0.8	0.0
	40 HRC	-3.2	-1.7	-0.8	-1.8	-0.8	-0.2	0.0	-3.9	0.2	-1.3
	60 HRC	-0.4	0.4	-0.9	0.5	-0.4	0.0	0.0	-4.5	-0.6	-0.5
KRISS 누르개	25 HRC	0.8	-0.6	0.9	-	-0.3	-1.1	1.0	-1.1	-0.1	0.8
	40 HRC	-1.3	-0.3	-0.1	-	-1.0	-0.6	-0.1	-2.0	-0.5	-0.3
	60 HRC	0.2	0.3	-0.4	-	0.0	0.5	-0.4	-1.7	-0.3	-2.1

표 4. KRISS 누르개를 사용하여 얻은 측정 결과

참가기관	KRISS	H1	H2	H3	H5	H6	H7	H8	H9	H10
25 HRC	25.22	25.40	24.93	25.42	25.12	24.84	25.48	24.97	25.15	25.57
40 HRC	40.61	40.37	40.52	40.52	40.25	40.44	40.58	40.23	40.40	40.53
60 HRC	61.98	62.03	62.07	61.85	61.98	62.12	61.72	61.57	61.83	61.18
25 HRC 편차		0.18	-0.29	0.20	-0.10	-0.38	0.26	-0.25	-0.07	0.35
40 HRC 편차		-0.24	-0.09	-0.30	-0.36	-0.17	-0.03	-0.38	-0.21	-0.08
60 HRC 편차		0.05	0.09	-0.13	0.00	0.14	-0.26	-0.41	-0.15	-0.80
확장불확도 (k=2)	0.16	0.16	0.44	0.15	0.34	0.29	0.22	0.17	0.47	0.41
확장불확도 (k=2)	0.13	0.13	0.32	0.19	0.34	0.26	0.37	0.14	0.41	0.29
확장불확도 (k=2)	0.18	0.13	0.30	0.28	0.40	0.24	0.60	0.15	0.46	0.33

이 그림 4이다. H4 기관은 KRISS의 누르개와 시험기가 맞지 않아 측정하지 못하였다.

자체 누르개를 사용하였을 경우 H8을 제외하고는 전 기관의 평균값이 최소 -0.59 HRC와 최대 0.40 HRC의 범위에 걸쳐 흐트러져 있어 그 폭이 0.99 이었으나, KRISS 누르개를 사용하였을 경우에는 그 값이 최소 -0.41 HRC 에서 최대 0.26 HRC로서 그 폭이 0.67로 줄어들었다. 따라서 전체적으로는 공통의 누르개를 사용함으로서 기관간의 편차가 줄어들었으며 또한 *En* 값이 개선되는 효과가 얻어져 신뢰도가 향상되었다고 판단할 수 있다.

표 5는 자체 누르개를 사용한 결과와 KRISS 누르개를 사용하여 얻은 결과를 비교하기 위하여 경도 범위별로 각 기관의 평균값과 기준값간의 차이가 누르개를 교체함에 따라 어떻게 변하였는가를 정리한 것이다. 참여기관 전체의 편차 평균값을 계산하면 누르개를 교체함에 따라 표 6에서 처럼 편차의 양이 공통 누르개를 사용함으로써 25 HRC에서는 47.7%, 40 HRC 에서는 55.0%, 그리고 60 HRC에서는 11.5% 줄어들었다. 저경도와 중경도 영역에서 개선 효과가 크게 나타난 것은 경도가 낮을수록 압입 깊이가 크므로 누르개의 영향이

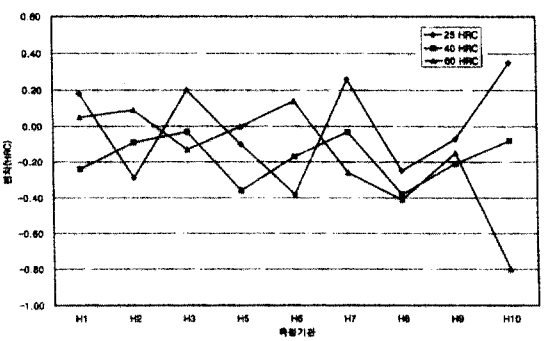

그림 4. KRISS 누르개를 사용하여 얻은 측정 결과. (H4 기관은 측정하지 못하였음)

그만큼 큰 때문이며 따라서 누르개를 통일함에 따라 이에서 오는 오차의 영향이 그만큼 많이 줄어든 것이다. 이 결과로부터 경도 시험의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 무엇보다도 각 기관에서 사용하고 있는 누르개의 품질을 우수한 것으로 교체해야 한다고 결론 지을 수 있다.

각 기관에 대해 개별적으로 분석하여 보면 H5, H6, H7 의 기관은 오히려 범위별 경도 평균값의 흐트러진 폭이 증가하였다. 이것은 이 기관들이 보유하고 있는

표 5. 누르개를 통일함에 따라 일어난 평균값 편차의 변화량. (|기관보유 누르개 사용시의 편차|- |KRISS 제공 누르개 사용시의 편차|)

	경도 범위	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
편차 감소량	25 HRC	0.07	0.09	-0.03	-	0.20	0.04	0.14	1.19	0.33	-0.35
	40 HRC	0.34	0.50	0.28	-	-0.05	-0.10	-0.02	0.70	-0.12	0.33
	60 HRC	0.03	0.05	0.30	-	0.18	-0.13	-0.24	0.77	0.13	-0.62

표 6. 누르개 통일에 따른 경도 범위별 편차 평균의 감소량

경도범위	각 기관 누르개 (HRC)	누르개 통일 (HRC)	감소량 (%)
25 HRC	0.44	0.23	47.7
40 HRC	0.40	0.18	55.0
60 HRC	0.26	0.23	11.5

시험기의 교정 상태에 상당한 문제가 있음을 의미한다. 그러나 H8의 경우에는 누르개를 바꿈으로써 편차가 크게 줄어들었다. 이것은 시험기보다도 누르개에서 오는 계통오차가 크다는 것을 의미하는 것으로서 누르개를 교체하여야 함을 알 수 있다.

H8 기관을 제외하고는 KRISS의 누르개를 사용할 경우, 단지 3개 기관에서 En 값이 1보다 큰 경우가 있었고 그것도 각기 한 경도 범위에서만 나타났기 때문에 누르개를 교체하는 것만으로도 국내의 경도 시험결과에 대한 신뢰도가 상당히 개선될 것으로 예측할 수 있다. 그러나 불확도를 분석하여 보면 누르개를 KRISS 것으로 교체하여 구한 결과의 불확도가 일부 기관을 제외하고는 별로 개선되지 않았다. KRISS 누르개를 사용하였을 때는 H2, H5, H7, H9, H10 기관의 불확도가 큰 편이었고 자체 누르개를 사용하였을 때는 H2, H3, H4, H5, H6, H7, H9, H10 기관의 불확도가 큰 편이었다. 따라서 불확도 측면에서 본다면 H1과 H8 기관이 만족할만한 수준이고 그 다음으로는 H6, H3 기관이 뒤따르는 순서가 된다.

불확도에 영향을 미치는 인자들을 중심으로 분석하여 보면 불확도가 증가하는데 기여를 한 인자는 첫 번째로 누르개이었고 그 다음으로는 부하속도와 초기 하중 및 기준 하중의 유지시간이었다. 이들 요소가 크게 작용한 이유는 경도시험기가 대부분 수동식이어서 시간을 측정하는 시작점과 종료점이 분명하지 않기 때문인 것으로 추정된다. 앞으로 경도시험기를 교정하는데 있어 시험기가 자동인가 수동인가에 따라 불확도 산정 방식을 달리하여야 할 필요성이 있음을 시사한다.

4. 결 론

1) 국내의 주요 산업체를 대상으로 실시한 순회 비교교정 결과 경도시험 결과에 대한 신뢰도를 향상시켜야 할 필요성이 큰 것으로 나타났다. 특히 압입 깊이가 큰 저경도와 중경도 영역에서 누르개의 영향이 큰 것으로 드러났기 때문에 누르개를 고품질의 것으로 교체해야 할 필요성이 크다.

2) 누르개의 기하학적 형상을 측정하는 능력을 갖추는 것이 바람직하나 현재 CIPM에서 형상 측정방법 표준화 작업이 진행 중에 있으므로 우선은 규격과 잘 부합하는 고품질의 것을 구입하는 방안이 현실적이다.

3) 그러나 누르개를 KRISS 것으로 통일하여 측정하였어도 각 기관별 편차가 일정한 경향을 보이지 않는 것으로부터 미루어 누르개를 교체하는 것만으로는 부족하며 경도 측정 숙련도를 개선할 여지가 있는 것으로 사료된다. 특히 하중 유지시간, 압입속도 등과 같이 시간과 관련된 인자들의 측정에 있어 개선할 여지가 있는 것으로 판단된다.

3) 누르개를 제외하고 시험기와 시험 조건에서 오는 불확도를 살펴보면 2개 기관을 제외하고는 만족할만한 수준이 아니었다. 불확도에 영향을 미치는 8개 주요 인자들 중에서 누르개 외에 시간과 관련된 인자들이 영향을 크게 미치는 것으로 드러났으므로 시험기의 종류에 따라 불확도 산정 방식을 달리할 필요가 있다.

4) 열처리의 품질 평가에 있어서 경도가 주요한 측정 수단으로 쓰이고 있으므로 경도측정 결과에 대한 국제적 신뢰도를 향상시키기 위한 개선 작업이 시급히 요구된다.

참고문헌

1. APLAC MR 001, Establishing and maintaining mutual recognition arrangements between accreditation bodies, NATA, 1999
2. ISO/IEC 17025, "General requirements for the com-

petence of testing and calibration laboratories", 1999.
3. ILAC guideline, www.ilac.org
4. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology
5. ISO/IEC Guide 43-1, "Proficiency testing by inter-laboratory comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing scheme"
6. ISO/IEC Guide 43-2, "Proficiency testing by inter-laboratory comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies"
7. Final Report, "Results of the round robin test, world-wide unified scales Rockwell hardness test with conical indneter", MPA-NRW, 2000.
8. KASTO 99-30-1010-016, "로크웰 경도 시험기 표준 교정 절차서", 한국 측정기기 교정협회, 1999.
9. ISO 6508-3, "Metallic Materials-Rockwell hardness test - Part 3: Calibration of reference blocks", 1999.
10. "Uncertainty in Hardness Measurement", EA Group "Mechanical Measurements Ad-hoc group", Final draft, Jan. 1999.