

쇼어경도표준의 확립에 관한 연구

방건용, 탁내형, 봉하현
한국표준과학연구원 물질량표준부
대전시 유성구 도룡동 1번지, 305-340

A Study on the Establishment of Shore Hardness Standards

G. W. Bahng, Nae-Hyung Tak, Haheon Bong

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

Abstracts Shore hardness test was developed in 1906 to overcome the limit of Brinell hardness test. However, the detailed requirements on the tester was not clearly specified except the scale, i.e., 100 HS for high carbon steel and 10 HS for soft brass. As a result, the shore hardness was used for quite long time without well established standards. For the establishment of hardness standards, standard tester, standard procedure, and standard hardness block must be provided. So far the standard of Shore hardness was maintained by correlating Shore hardness scale to Vickers hardness through converting equation. This is the so called converted Shore hardness and it is not the true Shore hardness standard strictly. In this paper, the possibility of establishing Shore hardness standard based on the Shore standard hardness tester is reported.

(Received April 13, 2002)

Key words: Shore hrdness, Shore hardness standard

1. 서 론

표준은 국제적으로 합의된 기준이 설정됨으로써 이루어진다. 보통 이 기준은 영구불변이라고 생각되는 자연현상을 기초로 삼는 것이 일반적이며 대표적인 예로서 빛의 속도를 들 수 있다. 그러나 경도의 경우에는 절대적인 기준이 없기 때문에 시험방법에 따라서 결과가 달라지며 따라서 경도의 표준을 확립하려면 표준시험기, 표준시험절차, 기준편의 3 요소가 명확하게 확립되어야 한다.

1906년에 시험방법이 개발된 쇼어경도시험의 목적은 브리넬 경도 시험기로 경도를 측정할 수 없었던 고경도 강종의 경도를 측정하기 위한 것이었다. 이를 개발한 미국의 A. F. Shore는 시험기의 사양을 분명하게 정의하지 않고 다만 고탄소강은 100, 연한 황동은 10으로 한다고 잣대만을 설정하였다[1,2]. 따라서 시험기에서 구해진 경도값과 기준편의 경도값이 일치하지 않으면 다이아몬드 누르개의 형상을 미세가공하여 일치되도록 하는 방식이 쓰이고 있다. ASTM규격에서도 이를 그대로 답습하여 다이아몬드 누르개의 형상을 임의로 가공하는 방식을 채용하고 있다[3]. 이것은 일본의 JIS 규격이나 KS 규격에서도 마찬가지로[4,5] 쇼어경도시험기로

시험을 하였을 때 시험결과가 기준편의 경도값에서 ± 1.5 HS 이내의 범위에 들어오면 시험기를 합격품으로 간주하고 범위 밖이면 다이아몬드 누르개 끝 부분을 임의로 미세가공하여 범위내의 값이 얻어지도록 한다. 이를 세키다니(關谷)는 “random polish 技術”이라고 불렀다[6]. 이처럼 시험 규격이 허술함에도 불구하고 시험기의 가격이 싸고, 시험이 간편하며 신속하다는 장점이 있어 휴대용으로 널리 보급되었다.

일본에서 이 시험기를 처음 도입하여 사용하면서 쇼어 눈금의 100 HS 기준을 결정하는 방법이 확실하지 않은데다가 기준편이 불안정하여 사용자들간에 측정값이 일치하지 않는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 Yoshizawa(吉澤)는 비커스 경도에 연동하여 쇼어경도를 유지하는 방안을 제안하였다[7]. 이 논문은 일본 JIS B 7731의 근거가 되었으며 그 내용은 무른 것에서부터 딱딱한 것에 이르기까지 여러 종의 시편을 대상으로 비커스 경도와 쇼어 경도를 같이 측정하여 환산식을 유도하고 이를 이용하여 쇼어경도를 비커스 경도에 맞추어 안정적인 기준을 유지한다는 것이다. 이를 일러 환산쇼어경도라고 부른다. 그러나 환산식을 구하는데 쓰인 쇼어 경도 시험기는 상용의 일반 시험기이었기 때문

에 엄밀한 의미에서는 쇼어경도의 표준이 제대로 확립된 것이라고 할 수 없다[7].

환산 쇼어경도를 이용하여 쇼어경도 표준을 유지하는 방식은 임시적인 편법으로서 전세계적으로 일본과 우리나라밖에 쓰이는 곳이 없다. 따라서 국제적인 표준의 확립이라는 측면에서도 쇼어경도 시험법 자체에 근거를 둔 경도시험의 표준화가 필요하다. 쇼어경도 표준을 확립하기 위한 첫걸음은 앞서 언급하였듯이 보통 시험기보다 정밀정확도가 훨씬 좋은 표준기급 시험기를 제작하는 것이다. 그 다음에 이 시험기를 이용하여 여러 시험조건하에서 경도값을 측정하여 최적의 시험조건과 시험기의 사양을 알아낸다면 쇼어경도의 표준을 설정할 수 있게 된다.

본 논문에서는 쇼어경도 표준을 쇼어경도 표준시험기를 바탕으로 직접 확립하는 가능성을 검토하였다. 또한 다이아몬드 누르개의 탄성특성을 평가할 수 있는 장치를 개발하여 누르개가 쇼어 경도 측정에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 쇼어경도표준의 확립

2.1. 쇼어경도 표준시험기 및 장기안정도 평가

일본의 계량연구소에서 설계하고 Akashi사에서 제작한 표준기급의 시험기를 도입하여 특성을 평가하였다. Table 1은 표준기의 사양으로서 주요한 특징으로서는 공기 베어링을 사용하여 해머와 유도관 사이의 마찰을 최소화하였으며, 해머를 진공흡착식으로 고정하는 방식을 취하였고, 반발높이는 레이저 계측장치를 채용하여

Table 1. Specifications of Shore standard hardness tester.

항목	규격
형식	D 형
해머의 질량	사각 해머 길잡이: 32.2 ± 0.05 g 압자: 36.2 ± 0.05 g
시편의 크기 (mm)	200 ϕ × 70 t
받침대의 질량	40 kg
받침대면의 직경	40 mm
받침대의 평면도	1 μ m
시편고정 압력	0~50 kgf 압축공기 이용
해머의 고정방식	진공 흡착식
낙하 높이	19 \pm 3 mm
낙하높이의 설정 정밀도	1 μ m
반발높이의 측정	레이저 광학계측 장치
반발높이의 측정 정밀도	0.5 μ m
계측통 연직도	4' 이내
해머가이드	정압 공기 베어링식

0.5 μ m까지 측정할 수 있다는 점들을 들 수 있다. 받침대의 질량은 40 kg으로서 4 kg에 지나지 않는 상용시험기보다 훨씬 무거운데 그 이유는 받침대의 질량이 적을 경우 시편의 질량효과가 상대적으로 크게 나타나기 때문이다[8].

시험기의 장기 안정도를 평가하고자 71.5 HS의 기준편을 사용하여 지시정밀도를 시험하였다. 총 420회의 시험을 실시하였으며 1회에 9번씩, 20회를 측정한 결과 흐트러짐(R)은 0.83 HS이었고, 이동 흐트러짐(R_x)은 0.32 HS이었다. 이 결과를 바탕으로 계산한 결과 지시정밀도($E_2R_xE_2 = 2.66$)는 0.85 HS이었고, 흐트러짐의

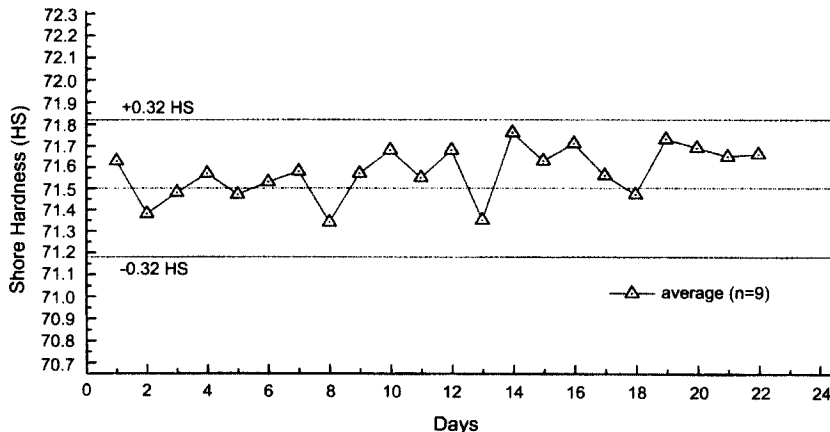


Fig. 1. Long term stability evaluation of Shore hardness tester.

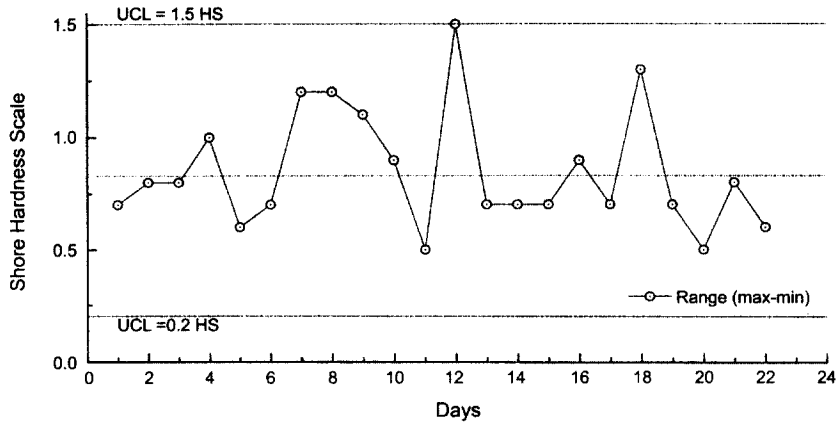


Fig. 2. Data scattering range of Shore standard tester.

관리한계 폭은 상한(UCL) 1.5 HS, 그리고 하한(LCL) 0.2 HS이었다.

Fig. 1과 2는 이 결과를 그림으로 나타낸 것으로서 Fig. 1은 경도평균값의 관리도이고 Fig. 2는 흐트러짐의 관리도이다. 지시값의 변동 경향으로 보아 경도 시험기가 매우 안정된 것으로 판단할 수 있다.

2.2. 시험조건이 미치는 영향

쇼어 경도 시험에서 쇼어 경도값과 충격에너지 및 누르개의 형상과 탄성 특성과의 관계식은 아래와 같은 Tabor의 식으로 표현될 수 있다[9].

$$\frac{W_1 \times HS^4}{r^3 f^4(E) \left[1 - \frac{(2n-1)HS}{(2n+4)K} \right]^3} = C \quad (\text{식 1})$$

위의 식에서 HS는 쇼어 경도값, W_1 은 충격에너지로서 위치에너지(mgh_1)와 같으며 해머의 질량, 중력가속도, 낙하 높이에 의해 결정된다. r 은 누르개의 선단 반경이고 $f(E)$ 는 탄성파라미터이며 n, K, C 는 상수이다. 식 1을 간단히 하면 식 2와 같이 된다.

$$\frac{W_1 \times HS^4}{r^3 f^4(E)(1-bHS)^3} = C \quad b = (1/200) \quad (\text{식 2})$$

해머의 질량이 쇼어 경도에 미치는 영향은 식 2로부터 추정할 수 있다. 해머의 질량이 미치는 영향에 주안점을 두고 식 2를 정리하면 식 3이 얻어진다.

$$\frac{\Delta HS(m)}{HS} \approx -\frac{(1-bHS)}{(4-bHS)} \times \frac{\Delta m}{m} \quad (\text{식 3})$$

쇼어 경도 시험기의 규격에서 보면 해머 몸통에서 0.05 g, 그리고 누르개에서 0.05 g까지 제어가 가능하다. 이 경우 쇼어 경도에 미치는 영향은 전체 해머 질량이 68.4 g 이므로 식 3에 값을 대입하여 계산하면 알 수 있다. 쇼어 경도가 80인 경우를 기준으로 계산하면 표준 시험기에서 예상할 수 있는 쇼어 경도값의 변동 폭은 0.019 HS로서 무시할 수 있는 수준이다.

중력가속도의 영향도 질량이 미치는 영향과 비중에 같 으며 지역에 따른 중력가속도의 변동은 0.1%이하이므로 중력가속도에 따른 영향도 무시할 수 있다.

초기 낙하 높이의 영향에 대해서 식 2를 정리하여 간단히 하면 식 4가 얻어진다. 식 4에 표준 시험기의 낙하 높이 제어 정밀도인 0.1 μm를 넣어 계산하면 쇼어 경도 변동은 80 HS를 기준으로 하였을 때 0.00035 HS로서 무시할 수 있는 수준이다.

$$\frac{\Delta HS(h_1)}{HS} \approx \frac{3}{(4-bHS)} \times \frac{\Delta h_1}{h_1} \quad (\text{식 4})$$

따라서 표준기를 기준으로 평가할 경우, 표준기의 규격이 만족되고 낙하높이와 질량 등이 정밀하게 제어된다면 쇼어 경도에 미치는 영향은 미미하다고 할 수 있다.

실제로 초기 낙하 높이를 0.5 mm만큼 강제적으로 위치를 바꾸어 시험한 결과 HS 70 수준에서의 변동폭은 0.4 HS 이내이었다. 쇼어 경도 기준편의 허용 공차폭이 경도 범위에 따라 10 HS에서 18 HS 인 것을 고려하면 낙하 높이의 정밀도는 이로서 충분하다고 결론 지을 수 있다.

식 1과 관련이 있는 인자는 아니나 경도 시험에 영

향을 미치는 인자들로서 시편 받침대의 중량과 시편을 누르는 힘이 있는 것으로 알려져 있다[7]. 시편 받침대의 중량이 문제가 되는 이유는 쇼어 경도가 반발경도이므로 탄성에너지가 시편 받침대의 중량에 따라 영향을 받기 때문이다. 마찬가지로 시편과 시편 받침대간의 밀착 정도에 따라 탄성 에너지가 영향을 받는다. 이 때문에 KS 규격에서는 20 kgf 이상의 힘으로 시편을 누르게 되어 있다. 시험결과 20 kgf 이상이면 경도 수준에 관계없이 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 시편 받침대의 질량에 있어서도 40 kg의 질량이면 충분한 것으로 나타났다.

공기베어링의 공압이 미치는 영향은 해머와 길잡이 통벽면 사이의 마찰에 의한 에너지 손실과 관련이 있다. 공압이 낮을 경우에는 접촉에 의한 마찰 손실이 있을 가능성이 있다. 공압의 영향에 대해서 검토한 결과 제작사에서 요구한 최소 압력인 0.11 MPa 이상이면 경도 수준에 관계 없이 경도값에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 드러났다.

2.3. 누르개가 경도 시험에 미치는 영향

식 1에서 보면 쇼어 경도에 영향을 미치는 인자들은 충격에너지(W) 외에 누르개의 끝 반경(r)과 탄성 파라미터($f(E)$)가 중요한 위치를 차지하고 있음을 알 수 있다. 누르개의 탄성 특성을 평가하는데 필요한 힘의 범위를 알고자 쇼어 경도 시험에 의해 얻어진 압흔의 지름으로부터 충돌에너지를 계산하였다. 이 충돌에너지로부터 누르개의 끝 부분에 약 50 kgf의 힘이 가해지는 것을 확인하였다. 따라서 이 정도의 힘이 가해질 때 탄성 변형량이 어느 정도나 되는지 측정할 수 있는 장치를 고안하였다. 탄성 변형량을 측정하는데 필요한 하중은 경도시험기를 이용하여 가하였으며 변형량도 경도시험기의 압입 깊이 지시 장치를 이용하여 측정하였다.

누르개로는 표준시험기를 도입할 때 같이 공급된 표준 기급 누르개와 국내에서 곡물 반경을 1 mm로 하여 제작한 누르개 4개를 사용하였으며 곡물반경 2 mm짜리 누르개 1개를 비교를 위하여 같이 실험하였다. Table 2는 누르개 별로 하중을 가하였을 때 발생하는 변형량을 측정하는 결과이다. Fig. 3은 이를 도표로 나타낸 것이다.

Table 2에서 보면 압입 상대 재료로서는 산화지르코늄이 가장 우수하였다. 강재는 자체 변형 때문에 탄성 변형량을 제대로 현시하지 못하는 것으로 드러났다. 누르개마다 탄성 변형량이 다르게 나타났으나 ZrO_2 에서는

Table 2. Elastic deformation of indenter

	강 (1)	강 (2)	Si_3N_4	ZrO_2
표준 (1 μ m)	13.54	16.44	16.6	17.87
이 1(1 μ m)	13.48	16.34	16.4	17.67
이 1(2 μ m)	13.5	15.74	14.93	16
신 1(1 μ m)	13.94	16.78	16.74	17.88
신 2(1 μ m)	13.82	16.6	16.48	17.76
신 3(1 μ m)	14.04	16.82	16.76	17.96

Fig. 3. Elastic deformation of indenter.

차이 같은 곡물반경의 누르개를 대상으로 비교하였을 경우, 0.29이었다. 이것은 최저 탄성 변형량인 17.67을 기준으로 하였을 때 1.64%에 해당한다. 이로 인해 발생할 수 있는 쇼어 경도 값의 변화량은 식 5로부터 계산할 수 있다. 80 HS 수준에서의 변화량은 계산 결과 0.011 HS로서 낙하높이나 질량보다도 큰 영향을 미치는 인자로 판단할 수 있다.

$$\frac{(\Delta HS(f))}{HS} \approx \frac{4(1-bHS)}{(4-bHS)} \times \frac{\Delta(f)(E)}{f(E)} \quad (\text{식 5})$$

정적 하중을 가한 상태에서의 탄성 변형량을 측정하고 후 동적 탄성량과 어떤 차이가 있는가를 검토하였다. 반발률의 측정은 동일한 시편을 대상으로 같은 위치에서 계속 시험을 하여 더 이상 소성변형이 일어나지 않게 될 때까지 시험한 다음에 반발 높이를 측정하는 방식으로 하였다. 소성 변형이 더 이상 일어나지 않는 단계에서는 튀어 오르는 높이가 누르개와 해머의 탄성 특성에 의해서 결정된다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 반발률에 대한 시험 결과로서 처음 1회 시험에서는 끝이 멎도록 하기 때문에 소성 변형이 잘 안 일어나는 곡물반경 2 mm 누르개의 반발 높이가 더 높았다.

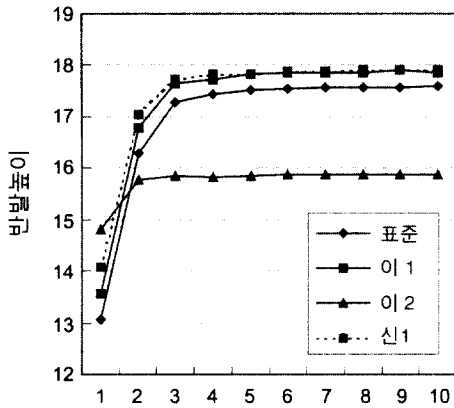


Fig. 4. Change of rebound height with the number of rebound.

Table 3. Indent diameter difference along the long and short axis..

누르개종류	전체평균 (m)	장직경 (m)	단직경 (m)	차이 (μm)
표준 누르개	328.5	329.5	327.5	2.0
이 1 (r=1)	331.9	342.9	320.9	22.0
이 2 (r=2)	383.5	395.8	371.1	24.7

소성 변형이 모두 일어난 다음에는 끝이 뾰족한 누르개의 탄성 변형량이 높기 때문에 Fig. 4에서 처럼 곡률반경 1mm 누르개의 반발 높이가 더 높게 나왔다. 그러나 같은 1mm 곡률반경의 누르개라 하여도 반발높이에서 역산한 경도값의 차이가 대략 2 내지 3 HS 이었다. 이것은 탄성 변형량의 차이로부터 예측한 값보다도 10배 이상 차이가 나는 결과이다.

탄성 변형량의 차이에 의해 예상되는 차이보다도 더 큰 차이가 나타난 결과를 분석하고자 누르개에 의해 생긴 압흔을 관찰하였다. Fig. 5는 압흔을 관찰한 결과로서 일본에서 제작한 표준기의 누르개와 비교하여 국내에서 제작한 누르개의 압흔이 불규칙함을 알 수 있다. Table 3은 누르개 압흔의 장단축의 길이를 잰 결과로서 길이차가 국내에서 제작한 것이 더 컸다. 누르개가 다르다는 이외에는 다른 차이가 없으므로 다이아몬드 누르개의 정밀가공이 경도 측정의 중요한 인자가 됨을 알 수 있으며 또한 탄성 변형량을 측정하는 것만으로는 누르개의 품질을 평가하는데 부족함을 알 수 있다.

2.4. 누르개에 따른 경도값의 변화

탄성 변형량을 측정된 다음에는 누르개만을 바꾸어 가면서 경도를 측정하여 그 값을 비교하였다. Table 4는 그 결과로서 환산쇼어와 값을 비교한 것이다. Table에서 보듯이 표준기와 같이 공급된 누르개는 경도 수준에 따른 차이가 별로 없었으며 비교적 일정하게 값 차이가 유지됨을 알 수 있다. 고경도 범위에서 차이가 다소 커지나 그 차이는 7.5 HS를 넘지 않았으며 저 경도에서는 5 HS 수준이었다. 그러나 국내에서 제작한 누르개를 사용하여 경도를 측정된 결과 그 차이가 예상보다 크게 나타났다. 동일한 곡률반경을 가진 누르개인데도 불구하고 심하게는 고경도에서 15 HS 이상 차이가 났다. 또한 개별 누르개마다의 차이도 커서 무언가 아직 제대로 제어되지 않고 있는 인자가 있음을 알 수 있다. 더욱이 측정 결과의 편차를 비교하여 보면 국내에서 제

Fig. 5. Difference of indent between commercial and standard grade indenters.

다시 말하여 소성 변형을 일으키는데 소모되는 에너지가 적기 때문에 그만큼 높이 튀어 오른 것이다. 그러나

Table 4. Results of hardness measurement with standard tester using different indenters.

누르개	환산경도 (B)	평균 (A)	편차	차이 (A)-(B)
표준	HS 31.2	36.27	0.3	5.1
	HS 55.3	61.03	0.3	5.7
	HS 87.9	95.45	0.8	7.5
	HS 31.2	38.78	0.5	7.6
이 1	HS 55.3	64.63	1	9.3
	HS 87.9	100.10	0.5	12.2
	HS 31.2	48.63	0.6	17.4
이 2	HS 55.3	77.57	2	22.3
	HS 87.9	110.98	2.2	23.1
	HS 31.2	39.72	0.4	8.5
신 1	HS 55.3	65.73	1.1	10.4
	HS 87.9	102.50	0.7	14.6
	HS 31.2	39.10	0.5	7.9
신 2	HS 55.3	64.88	0.7	9.6
	HS 87.9	101.73	0.7	13.8
	HS 31.2	40.38	0.3	9.2
신 3	HS 55.3	66.58	0.5	11.3
	HS 87.9	103.18	1.7	15.3

Table 5. Results of hardness measurement with commercial tester.

누르개	환산경도 (B)	평균 (A)	편차	표준기값 (C)	차이 (C)-(A)
상용 1	HS 31.2	32.85	0.5		
	HS 55.3	56.27	1.2		
	HS 87.9	89.50	1.6		
상용 2	HS 31.2	35.10	0.5		
	HS 55.3	58.28	0.8		
	HS 87.9	91.23	1.1		
표준	HS 31.2	30.30	0.5	36.27	5.97
	HS 55.3	55.18	0.7	61.03	5.85
	HS 87.9	90.83	0.6	95.45	4.62
이 1	HS 31.2	34.80	0.5	38.78	3.98
	HS 55.3	60.50	0.8	64.63	4.13
	HS 87.9	95.38	2.7	100.10	4.72
이 2	HS 31.2	52.63	1	48.63	(4.00)
	HS 55.3	79.62	1.5	77.57	(2.05)
	HS 87.9	113.80	1.7	110.98	(2.82)
신 1	HS 31.2	37.07	0.4	39.72	2.65
	HS 55.3	64.92	0.4	65.73	0.82
	HS 87.9	98.47	0.6	102.50	4.03
신 2	HS 31.2	36.73	0.9	39.10	2.37
	HS 55.3	62.68	0.8	64.88	2.20
	HS 87.9	95.77	0.8	101.73	5.97
신 3	HS 31.2	35.68	1	40.38	4.70
	HS 55.3	63.87	1.3	66.58	2.72
	HS 87.9	99.08	0.8	103.18	4.10

험기를 이용하여 측정된 결과를 정리한 것으로서 시험기와 관계없이 동일한 경향이 나타났다. 따라서 이 결과는 누르개에서 기인한다는 것으로 결론지을 수 있다.

Fig 6. Shore hardness measurement with different indenter

작된 누르개가 고경도 범위에서 약 2배이었으며 이것은 그만큼 국산 누르개가 불안정한 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 6은 이 결과를 도표로 나타낸 것으로서 국내에서 제작한 누르개에서 얻어진 결과가 한결같이 경도가 높게 나오는 경향이 있음을 알 수 있다. 탄성 특성은 모두가 비슷하게 나타났으나 반발 특성이 다르게 나타난 것으로부터 곡률반경과 같은 기하학적 형상이 크게 영향을 미치는 것으로 추정된다. 이와 같은 경향은 표준 시험기가 아니라 상용 시험기로 누르개를 바꾸어 가면서 시험한 결과에서도 관찰되었다. Table 5는 상용 시

2.5. 누르개의 기하학적 형상

위의 결과로부터 누르개의 탄성 특성뿐만 아니라 기하학적 형상도 중요한 영향을 미친다는 것이 확인되었다. 그러나 KS나 JIS에서는 곡률반경에 대한 규정이 약 1mm로 되어 있어 허용 범위가 분명하지 않다[4,5]. 따라서 경도 기준편에 명시된 값이 계기상으로 측정된 값과 일치하면 어떤 누르개건 상관없다는 극단적인 경우도 성립할 수 있다. 실제로 일본의 자료를 보면 상용 시험기의 곡률반경이 0.8~1.6mm에 걸쳐 분포되어 있어 형상오차 폭이 큰 것으로 나타나고 있다[8]. 누르개의 형상에 대한 연구 끝에 일본에서는 쇼어경도기준편의 경도값을 인증하는데 쓰는 고정밀 쇼어경도시험기

누르개의 곡률반경을 규격에 첨부된 참고용의 자료에서 1.00 ± 0.07 mm로 할 것을 제안하고 있다[10]. 한국도 이와 똑같이 개정하여 같은 내용이 KS 규격에 참고자료로 실려 있다[11].

누르개의 곡률반경에 대한 공차는 ± 0.07 mm로 되어 있으나 이를 측정하는 방법이나 공차를 결정하는 방법에 대해서는 표준화가 이루어져야 한다. 예를 들어 2차원적으로 곡률반경을 측정한다고 하면 몇 군데 방향에서 바라볼 것인지, 그리고 이 측정값들과 평균값간의 차이를 공차로 볼 것인지 아니면 전체 형상을 측정하고 최대 튀어나온 부분과 최소 들어간 부분간의 차이를 허용 공차로 할 것인지 등이 명확하지 않다.

3. 표준시험기의 결과와 환산쇼어의 차이에 대한 검토

현재 KS 규격에 따르면 쇼어 경도의 표준은 환산쇼어에 의해 유지되고 있다[11]. 비커스 경도시험기로 기준편의 경도를 측정된 다음에 이 결과로부터 환산쇼어 방정식을 이용하여 쇼어경도값을 계산하고 이를 기준편의 쇼어 경도값으로 인증하는 방식이다. 환산쇼어경도값을 구하는 방정식은 아래의 식 6과 같다. 이 관계식을 구하는데 쓰였던 쇼어 경도시험기는 표준시험기가 아니라 일반적으로 쓰이는 상용 시험기이었다. 결국 쇼어 경도는 자체로서의 표준을 유지하는데 필요한 표준시험기가 없이 사용되어 온 것이다.

$$VHS = (1.7435\alpha - 1.1505\alpha^2 + 0.5818\alpha^3 - 0.1609\alpha^4) \times 100 \quad (\text{식 6})$$

위의 식에서 α 는 HV/1000이다. 본 연구에서는 표준 시험기를 이용하여 직접 쇼어 경도 표준을 확립하는 방안을 검토하고자 동일한 시편을 대상으로 표준기로 경도를 측정하고 이를 환산 쇼어와 비교하였으며 또한 상용 시험기를 사용하여서도 경도값을 비교하였다. 그 결과 표준기를 사용하여 측정된 결과가 전 경도 범위에 걸쳐 환산쇼어 경도값보다 5 내지 7 HS 더 큰 것으로 나타났다. 상용 시험기를 이용하여 측정된 결과와 직접 비교하여도 같은 경향이 관찰되었다. Fig. 7은 이 결과를 나타낸 것으로서 상용 시험기와 환산 쇼어의 차이는 2 HS 이내로서 거의 근사하였으며 이 값은 기준편의 허용 공차 이내이다. 따라서 위의 환산식 6은 일

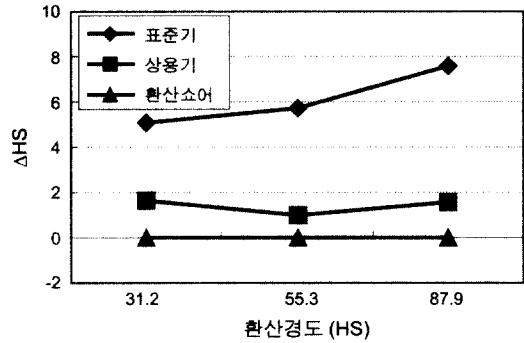


Fig. 7. Difference in hardness measurement between commercial and standard tester.

반기급의 쇼어경도 시험기에 대해서는 적절하나 정밀한 표준기급에 대해서는 맞지 않음을 알 수 있다.

표준시험기와 상용의 일반 시험기간에 차이가 생기는 원인은 앞서 언급한 바와 같이 기계식 지지장치에서 연유할 가능성이 크다. 실제로 지지장치의 정확도가 어느 정도나 되는가에 대해 각 상용 시험기를 대상으로 지지장치의 정밀도를 측정된 결과 Table 6과 같이 시험기마다 큰 차이가 있었다. 지지장치의 한 눈금에 해당하는 높이를 마이크로미터로 측정하여 얻은 결과를 100% 비율로 환산하면 그 차이는 최대 12%에 이르렀다. 이 결과로부터 상용 시험기에 바탕을 두고 얻어진 환산쇼어 경도의 신뢰도가 매우 의심스럽다고 판단할 수 있으며 따라서 앞으로 규격을 수정하여 쇼어 경도 표준기로 직접 표준을 확립하는 것이 쇼어 경도의 정밀도를 높이기 위해 필수적으로 요구된다.

Table 6. Accuracy of drop height and indicator of a commercial Shore D type hardness tester.

시험기	낙하 거리 (mm)	한눈금의 값 (mm)	140의 반발거리 (mm)	100의 반발비 (%)
1	19.64	0.1353	18.94	69.0
2	19.25	0.1351	18.91	70.2
A 사 1	19.42	0.1321	19.49	68.0
A 사 2	20.04	0.1335	18.69	66.7
A 사 3	18.23	0.1346	18.84	73.8
B	19.67	0.1313	18.38	66.8
C	17.75	0.1363	19.08	76.8
D	19.50	0.1356	18.98	69.5
E	18.58	0.1326	18.56	71.4
F	19.70	0.1259	17.63	64.0

Table 7. Comparison of specifications between commercial grade, high precision grade and standard grade. (D type)

시험기	일반기급	고정밀급	표준기급
해머의 낙하높이	약 19 mm	19.0 ± 0.02 mm	19.0 ± 0.001 mm
해머의 무게	약 36.2 g	36.2 ± 0.1 g	36.2 ± 0.05 g
해머 앞끝 반지름	약 1 mm	1.00 ± 0.07 mm	1.00 ± 0.01 mm
경도지시방식	지침 / 디지털	디지털	디지털
반발높이의 측정 정밀도	-	± 25 μm	± 0.5 μm
시료받침대의 무게	4 kg	30 kg	40 kg

lizuka는 쇼어경도시험기의 정밀도를 향상시켜 쇼어경도 자체로서의 표준을 확립하기 위한 연구를 수행하였으며 쇼어경도의 가장 큰 취약점인 반발높이의 측정 정밀도를 향상시키고자 음파를 측정하여 반발높이를 계산하는 방식을 개발하였다. 측정결과 시험대상이 되는 소재에 따라서 환산식이 다르게 나왔으며 가장 적절한 환산식을 구한 결과 5차 식이 유도되었다. 이 경우 기존 환산쇼어경도와와의 차이는 50 HS 이상에서는 최대 0.5 HS, 그리고 그 이하에서는 최대 1.6 HS 정도가 된다고 하였다[12, 13]. 이 연구결과를 반영한 것이 JIS 규격에 첨부되어 있는 쇼어경도기준편 인증용 고정밀기급의 쇼어경도시험기 규격이다[10]. 그러나 본 연구에서 사용한 표준시험기에서처럼 에어 베어링을 사용하여 해머와 유도통간의 마찰을 줄이고 레이저를 사용하여 반발높이의 측정 정밀도를 향상시키면 그 차이가 더욱 커지는 것으로 추정된다. Table 7은 비교를 위하여 본 연구에서 사용된 표준기급 시험기와 기준편의 인증에 사용하는 고정밀 쇼어 경도 시험기, 그리고 일반 시험기의 규격을 비교한 것이다.

4. 결 론

쇼어경도의 표준은 임시적인 편법으로 환산쇼어를 통하여 비커스 경도에 연동되어 있기 때문에 필연적으로 쇼어경도 시험방식에 따른 표준 확립 작업이 수행되어야 한다. 비커스 경도시험기로 측정된 결과로부터 환산식을 이용하여 쇼어경도기준편의 인증경도값을 구하고 있으나 환산식 자체가 비커스 경도와 일반기급의 상용 쇼어경도시험기에서 얻어진 것이기 때문에 쇼어경도표준은 일반기급의 수준을 벗어나지 못한다. 또한 환산식을 구하는데 사용하는 기준편의 소재에 따라서도 그 차이가 나기 때문에 반발경도시험방식에 따른 쇼어경도 표준확립이 필요하다. 본 연구에서 사용한 표준시험기급

의 시험기를 이용하여 측정된 결과 전 경도 범위에 걸쳐 환산쇼어경도보다 약 5 HS 내지 7 HS 높은 것으로 나타났다. 따라서 쇼어경도표준과 관련된 규격을 개정하여 환산쇼어를 사용하는 방식이 아니라 표준기급 쇼어경도시험기로부터 표준을 확립하는 내용으로 규격을 개정할 필요가 있다.

또한 연구결과 다이아몬드의 탄성 특성보다도 곡률반경이 경도측정결과에 더 영향을 미치는 중요한 인자인 것으로 드러났으며 낙하높이 다음으로 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다[8]. 따라서 곡률반경의 허용 공차를 명확하게 명시하는 방향으로 관련 규격을 개정하는 것이 중요하다. 이렇게 하면 다이아몬드 누르개를 임의로 가공하여 기준편의 경도값에 측정결과를 맞추는 방식에서 벗어나 표준화된 시험기와 시험 방법에 따르는 제대로 된 경도표준이 확립되어 쇼어경도시험에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. A. F. Shore, "An Instrument for Testing Hardness", American Machinist, vol. 30-11, pp. 747-751 (1907)
2. A. F. Shore, "The Scleroscope", ASTM, Proc. Vol. 10 (1910)
3. "Standard Practice for Scleroscope Hardness Testing of Metallic Materials", ASTM E448-82.
4. "Shore Hardness Testing Machine", 일본산업규격(JIS) B 7727 (1993)
5. "쇼어경도시험기", 한국산업규격(KS) B 5527 (1995)
6. 關谷三郎, "硬さ試験の原理と關聯規格", 現場の硬さ試験 "日本材料試験技術協會, 1-1~1-35 (1989)
7. 吉澤武男, "硬度基準片のShore硬度的決定に就て", 日本機械學會誌 47권 322호, pp. 49-53 (1944)
8. JIMS 技術標準 No. 4, "硬さ試験技術", (財)日本産業技術振興協會 (1977)
9. D. Tabor, "A Simple theory of elastic and dynamic hardness", Proc. Roy. Soc. A192, 247 (1948)

10. “Standardized blocks of Shore hardness”, 일본산업규격 (JIS) B 7731 (1993)
11. “쇼어경도기준편”, 한국산업규격(KS) B 5531 (1995)
12. Kozo Iizuka, (飯塚幸三) “Studies of improving the accuracy of Shore hardness scale”, 計量研究所報告, vol. 20, no.4 (no.61) (1971)
13. 飯塚幸三, 今井秀孝, 後藤充夫, “Shore hammerの反撥特性と標準hammerの選定方法”, 日本機械學會論文集 39 권, 317호, pp. 107-114 (1973)