

브리넬 경도 표준 시험기 및 압입 자국 자동 측정장치의 특성 평가에 대한 연구

방건웅, 탁내형
 한국표준과학연구원 물질량 표준부

A Study on the Evaluation of Brinell Standard Hardness Tester and Automatic Indentation Measurement System

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

ABSTRACT Evaluation of Brinell standard hardness tester was carried out to secure its application as a national standard for Brinell hardness. Accuracies and reliabilities in load application, indenter diameter and indentation measurement were tested through evaluation of these components. The accuracies of load application for various loading conditions were within the limit of ISO and KS specifications. Errors in the indentation measurement due to the difference in personnel characters were successfully removed by utilizing automatic indentation measurement system. In overall, the tester and the indentation measuring system were found to be eligible as a national standard of Brinell hardness.

Key words : *Brinell hardness, standard hardness tester, automatic indentation measurement*

1. 서론

브리넬 경도 시험은 1900년에 스웨덴의 J. A. Brinell 박사에 의해 고안된 압입 경도 시험의 하나로써^{1,2)} 직경 10 mm나 5 mm의 강구를 500~3000 kgf 하중으로 시편에 압입 시킨 후 생겨난 압입 자국의 단면적으로 시험하중을 나눈 값으로 정의되며 HB로 표시한다³⁻⁵⁾. 브리넬 경도는 누르개가 강구이기 때문에 강구 이상의 경도를 가진 재료에 대해서는 시험이 불가능하다는 단점이 있다. 그러나 누르개로 쓰이는 강구의 크기가 다른 경도시험법에 쓰이는 누르개 보다 훨씬 크기 때문에 재료의 재질이나 조직이 다소 불균일하더라도 신뢰성

있는 경도값을 얻을 수 있어 주철, 주물, 비금속 재료 등의 경도시험에 널리 사용되고 있다.

브리넬 경도는 시험 하중과 누르개가 다른 경도 시험방법에 비해 매우 크기 때문에 오차 허용 범위가 다른 경도시험법에서보다 크다. 그러나 자동차, 항공기 등 고정밀 산업에서 부품의 경량화 등을 이유로 소재의 재질이 금속에서 비철금속으로 점차 대체되어 감에 따라 브리넬 경도의 이용도가 증가하고 있으며 따라서 과거보다 높은 정밀, 정확도가 요구되고 있다.

이와 같은 상황에도 불구하고 브리넬 경도의 국가표준이 확립되어 있지 않았기 때문에 각 기업에서는 가장 손쉬운 방법의 하나로 일본을 비롯한

미국, 호주, 중국 등의 기준편을 수입하여 브리넬 경도시험기의 교정을 위한 보정값 산출, 시험기의 장기안정도 관리 등에 그대로 사용해 왔다.⁶⁾ 이 결과 서로 다른 각국의 경도 기준편으로 교정된 시험기를 사용하여 얻어진 경도측정값도 서로 차이가 있게 되어 업체간 협력 생산에 걸림돌이 되고 있다.

본 논문에서는 국가표준분야확대⁷⁻⁹⁾ 연구과제를 수행하면서 확보한 브리넬 경도 표준기를 국가 표준 시험기로 사용할 수 있는지 확인하기 위한 작업의 일환으로서 시험하중의 정확도, 누르개의 변형도를 측정된 결과와 함께 압입자국 자동측정장치의 신뢰도를 평가한 결과를 실었다. 특히 시험하중의 정밀도를 평가할 때는 국가표준에 소급 교정된 로드 셀을 사용함으로써 브리넬 경도 표준의 시험하중을 힘 분야의 국가 표준과 연계되도록 하였다.

2. 시험기의 오차 측정 및 평가 방법

2.1. 브리넬 경도의 오차

브리넬 경도는 직경 D(mm)인 압자용 강구를 시험 하중 P(kgf)로 시편을 눌러서 생긴 압입자국의 직경 d(mm)로부터 산출된 식(1)로 정의된다.^{5,10)}

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

브리넬 경도시험에서 실제하중이 P+ΔP 이고, 누르개의 실제 직경이 D+ΔD 이며 (ΔP는 하중의 오차, ΔD는 누르개 직경의 오차), 압입 자국 직경이 d라고 하면 브리넬 경도의 참값 HB는 정의식, 즉 식(1)로부터 식(2)와 같이 표시된다.

$$HP = \frac{2P}{\pi D^2} \cdot \frac{\left(\frac{1+\Delta P}{P}\right)}{\left(\frac{1+\Delta D}{D}\right)^2 \left\{1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}} / \left(1 + \frac{\Delta D}{D}\right)\right\}} \quad (2)$$

한편 압입 자국의 직경이 측정오차 Δd를 포함하여 d+Δd로 측정되었다고 하면 계산상의 경도값 HB'은 식(3)과 같이 표시된다.

$$HP' = \frac{2P}{\pi D^2} \cdot \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{d^2}{D^2} \left(1 + \frac{\Delta d^2}{d^2}\right)}} \quad (3)$$

이 두 식의 차이가 브리넬 경도값의 오차인 ΔHB로서 식(4)와 같이 표시된다.¹¹⁾

$$\begin{aligned} \frac{\Delta HB}{HB} &= \frac{HB' - HB}{HB} \\ &\approx -\frac{\Delta P}{P} - \frac{d^2}{2D^2} \left(1 + \frac{d^2}{4D^2}\right) \frac{\Delta D}{D} - 2 \left(1 + \frac{d^2}{4D^2}\right) \frac{\Delta d}{d} \\ &\approx -\frac{\Delta P}{P} - \frac{d^2}{2D^2} \cdot \frac{\Delta D}{D} - 2 \frac{\Delta d}{d} \quad (4) \end{aligned}$$

압입 자국의 측정오차는 측정장치의 오차 ΔdM과 개인오차 Δde로 분해할 수 있고 규격^{5,10)}에 따라 d=0.24D~0.60D의 조건을 만족시켜야 하기 때문에 식(4)는 식(5)로 표시된다.

$$\frac{\Delta HB}{HB} \approx -\frac{\Delta P}{P} - (0.03 \sim 0.18) \frac{\Delta D}{D} - 2 \frac{\Delta dM}{d} - 2 \frac{\Delta de}{d} \quad (5)$$

따라서 식(5)로부터 경도시험기의 종합오차는 ΔP/P, ΔD, ΔdM, Δde의 각각의 양에 따라 바뀌는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이 네 가지 요인들이 브리넬 경도 시험결과에 미치는 영향을 검토하였다.

2.2. 브리넬 경도 표준시험기의 재원

Fig. 1은 일본의 Akashi사로부터 주문 제작하여 구입한 브리넬 경도 표준시험기(모델 SHT-5)의 개략도이고 Fig. 2는 실물을 찍은 것이다. 브리넬 경도시험기는 하중 부하기구의 구조에 따라 외팔보형, 유압형 등이 있고 이중 Fig. 1과 같은 단일

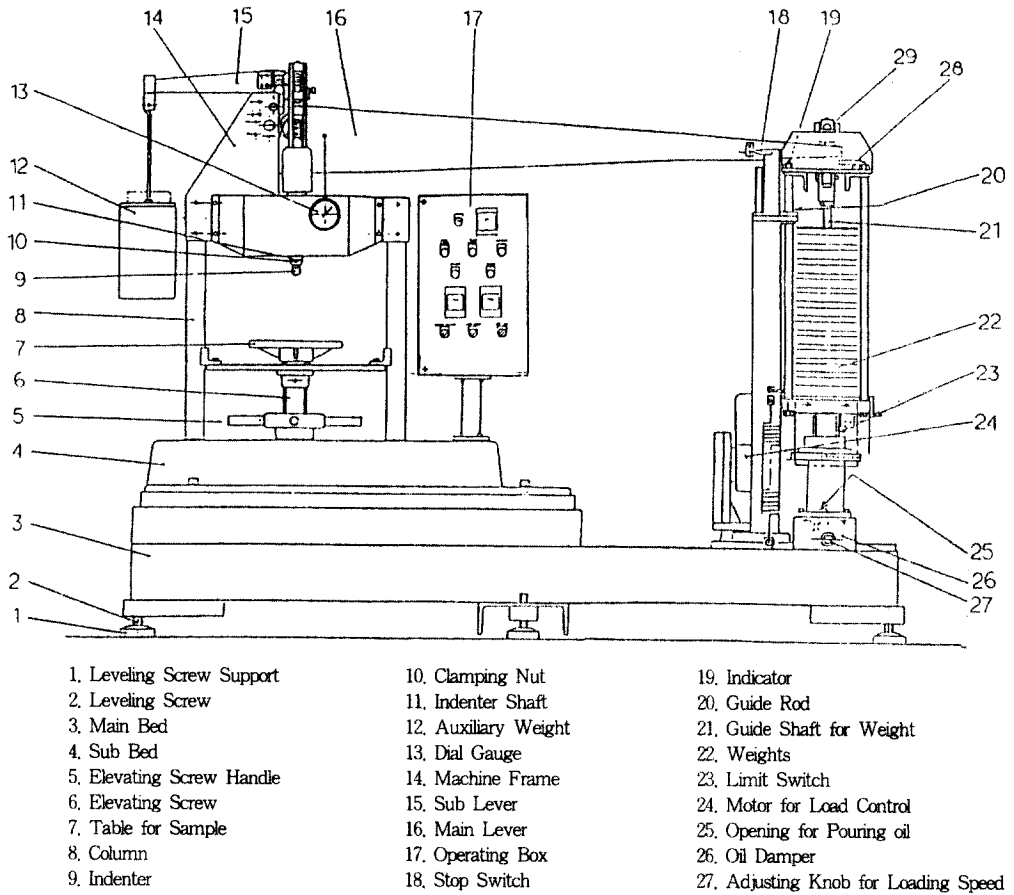


Fig. 1. Schematic diagram of the Brinell standard hardness tester, SHT-5.

Fig. 2. Birinell standard hardness tester. (Akashi SHT-5)

외팔보 식이 하중의 정확도, 반복성 등에서 가장 우수하다. 브리넬 경도시험기의 정밀정확도는 부하기구의 구조와 가공도에 따라 큰 차이가 있다. 본 연구에서 사용된 표준시험기는 정밀도를 향상시키기 위해 다음과 같은 점들에 역점을 두고 설계, 제작되었다.

1. 하중기구의 작용점은 모두 칼날 edge 방식이며 날을 보호하고 안정도를 높이기 위하여 자동적으로 자세가 안정되게 되어 있다.
2. 하중축 하부에 판 스프링을 설치하여 하중축이 상하운동을 할 때 안내역할을 함과 동시에 실린더와의 마찰이 없도록 했다.
3. 압입 속도는 오일 뎀퍼를 이용하여 0~200 $\mu\text{m/s}$ 까지 안정적으로 조절할 수 있게 되어 있다.

Table 1은 브리넬 경도 표준시험기의 제원을 정리한 것으로서 ISO규격이나¹⁰⁾ KS규격⁵⁾ 등에서 요구하는 시험조건은 물론이고 연구용의 목적으로도 쓸 수 있도록 시험조건을 가변적으로 조절할 수 있게 되어 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하중 정밀도 평가

경도시험기의 하중측정 방법에는 주 외팔보에 임의의 추를 1개 올려놓고 이 추에 의해 발생하는 누르개축의 하중을 정밀한 저울로 측정하여 길이 비를 구한 다음 이 길이 비를 사용하여 각각의 시험하중을 계산하는 방법과, 로드 셀을 사용하여 직접 측정하는 방법의 2 가지가 있다. 길이 비로부터 하중을 계산하는 방법은 시험방법이 간단하고 시간이 절약되기 때문에 일반용 시험기에서 많이 사용되고 있으나 이 방법으로 구해진 하중은 엄밀히 말하면 추정값이다. 본 시험에서는 로드 셀을 이용하여 부하하중을 직접 측정하였고 하중을 임의로 조절할 경우에 대비해 정격 시험하중에 대한 길이 비도 함께 구했다.

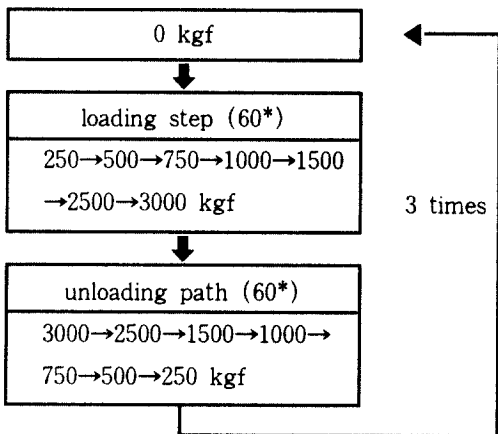
사용된 로드 셀은 용량이 1 ton인 로드 셀 3개를 조합한 build-up type으로서 100 kN 용량의 힘 표준기로 Fig. 3의 절차에 따라 3회 반복 측정하여 교정하였다. 교정이 완료된 다음에는 이 로드 셀을 이용하여 경도 표준시험기의 시험하중을 직접 측정하였다. 측정점은 140 kgf부터 3000 kgf 사이에 걸친 11개의 브리넬 경도 시험하중 중에서 표준시험 하중인 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 kgf 와 여기에 250 kgf을 추가하여 여덟 가지 경우의 하중을 측정하였다.

Table 1. Specifications of Brinell standard hardness tester.

구 조	외팔보 실험하중 칼날 접촉방식									
지렛대비	20 : 1									
시험하중(kgf)	140	150	160	170	180	190	200	220	230	
	240	250	300	340	350	390	400	440	450	
	460	470	480	490	500	750	1000	1500	2000	
	2500	3000								
속도제어기구 및 범위	오일뎀퍼, 0 ~ 200 $\mu\text{m/s}$ μm									
유지시간	5~ 30초									
시험방법	자동 및 수동선택									
기 타	- 압자축에 전자식 압입측정량 측정 센서부착 - 받침대 하부에 힘센서 부착 가능									

하중은 Fig. 4와 같이 오름차순과 내림차순을 1 회로 하여 전체 3회 반복 측정하였다. 하중 유지시간은 예비 시험시 30초로 하였으나 이 시간으로는 각 하중의 측정을 위한 주 외팔보 수평조절작업이 용이하지 않았고 작업시 발생하는 진동이 안정되는 데도 충분하지 않았기 때문에 60초로 늘렸다.

지렛대 방식의 시험기는 지렛대의 자체 중량으로 인하여 최소 시험하중이 자체 중량 이하로 내려갈 수가 없게 된다. 본 시험기에서는 이 한계를 극복하고 칼날 edge도 보호하기 위하여 시험하중 측에 작용하는 평형지렛대(counter balance, Fig. 1의 12 및 15)가 부착되어 있으며 이에 의하여 최소 시험하중을 10.012 kgf 까지 낮추는 것이 가능하다. 지렛대 방식의 시험기에서 하중을 교정할 때는 시험 하중별로 길이 비를 알고 있어야 교정에 필요한 추의 무게를 산출할 수 있다. 길이 비는 로드 셀로 측정된 시험하중에서 지렛대의 자중(自重), 즉 최소시험하중을 뺀 값을 추의 무게로 나누어 산출하며 Table 2에 각 하중에서의 길이 비를 산출한 결과를 실었다. 길이 비의 값이 각 측정 하중마다 매우 안정되어서 변동폭이 19.985 ± 0.004 이었으며 이로부터 하중 발생부가 정밀하게 설계, 제작되었음을 알 수 있다.



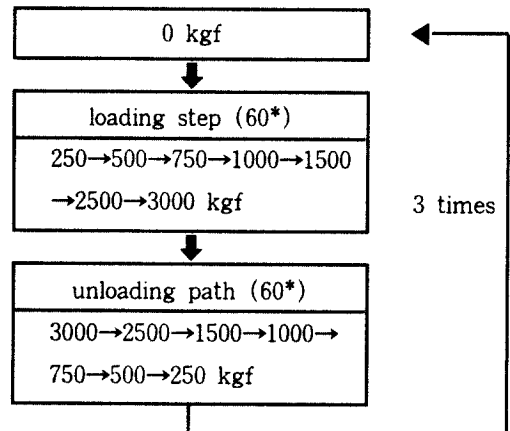
* Holding time(sec) at each step load.

Fig. 3. Calibration procedure of the load cell. (3 ton cap.)

브리넬 경도시험기를 설치한 직후에 실시한 시험하중 측정결과를 Table 3에 정리하였다. 이 결과를 보면 최대 시험 하중인 3,000kgf에서의 실제 작용 하중이 3,000.700 kgf 으로서 하중 오차가 0.023%이었고 흐트러짐은 300 gf (0.01%)로서 ISO⁹⁾에서 규정하고 있는 표준기의 정밀도인 0.1%를 충분히 만족하고 있다. 그러나 브리넬 경도 표준시험기도 다른 기계장치와 마찬가지로 여러 가지 기계 부품들의 상호 작용에 의해 작동되기 때

Table 2. Specifications of Brinell standard hardness tester.

Weight (kgf)	Test load	Lever ratio
12.0047	249.910	19.9816
24.5156	500.060	19.9892
37.0265	750.147	19.9893
49.5374	1000.225	19.9892
74.5592	1500.362	19.9881
99.5810	2500.524	19.9887
124.6028	2500.515	19.9875
149.6246	3000.675	19.9877



* Holding time(sec) at each step load.

Fig. 4. Load calibration procedure of SHT-5 Brinell standard hardness tester.

문에 부품들 간의 초기 마모와 변형을 피할 수 없다. 이에 의한 영향을 파악하기 위하여 시험기가 기계적으로 안정적인 상태로 접어들었다고 판단되는 시점인 설치 후 약 9개월이 경과된 때에 최대 시험하중 3,000 kgf에서 하중측정을 재 실시하였다. Table 3은 측정 결과를 요약한 것으로서 9개월이 지난 후 이루어진 하중 정밀도 측정 결과를 보면 오차가 0.063%로서 설치 직후의 0.023% 보다 높아졌으나 ISO¹²⁾규격의 요구조건인 0.1%를 여전히 만족하고 있다.

3. 2. 강구 누르개의 변형도 특성평가

강구 누르개의 크기 변화가 경도 측정에 미치는 영향을 평가하기 위하여 HB 100~200 과 HB 250~350 사이의 기준편 2종을 대상으로 누르개를 바꾸어 가면서 측정하였다. ISO규격을 만족하나 서로 약간씩 크기가 다른 강구를 이용하여 경도값을 측정 한 결과 경도 측정값에 미치는 영향은 거의 없었다. Table 4는 시험에 사용된 강구들의 직경을 측정 한 결과이며 강구의 직경은 최소눈금이 0.01 μ m 인 진원도 측정기를 사용하여 구하였다.

지름이 9.9983 mm인 강구를 HB 300에서 90회 반복 시험을 한후에 강구를 떼내며 직경을 측정 한 결과 Fig. 5에서와 같이 직경 변형량이 0.3 μ m으로

서 ISO 규격의 허용범위인 $\pm 1\mu$ m 이내이었다. 강구의 직경은 부착 위치를 표시한 후 holder에서 풀어내어 하중축에 수직 한 방향의 진원도를 측정하여 구하였다. 90회 반복 시험을 한 뒤 에 HB 300 전후의 경도 기준편을 대상으로 500회 이상 측정 한 다음에 직경 변형량을 재 측정 한 결과 변형량에는 변동이 없는 것으로 나타났다. 따라서 강구 누르개의 직경 변동은 초기에 집중적으로 일어나며 하중축에 수직 한 방향의 직경이 늘어나는 것으로 미루어 하중의 작용에 의한 변형이 일어난 것으로 추정된다. 그러나 초기 변형이 일어난

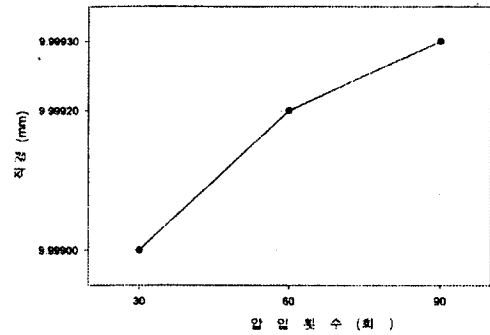


Fig. 5. Variation of indenter diameter which were measured on the crosssectional plane perpendicular to the loading axis after 90 indentations.

Table 3. Results of test load measurements right after the installation of the tester and 9 months later.

Applied load (kgf)	Measured load (kgf)			Average (kgf)	Error (%)	Dispersion (gf)	Range* (%)	비 고
3000	3000.6	3000.5	3000.6	3000.7	0.023	300	0.01	설치 직후
	3000.7	3000.6	3000.8					
	3000.6	3000.7	3000.8					
3000	3001.8	3001.8	3001.8	3001.9	0.063	300	0.01	9개월 후
	3001.8	3001.7	3001.8					
	3001.8	3002.0	3002.0					
	3002.0	3002.0	3001.9					

* Range = (Dispersion / Applied load) × 100

뒤에는 거의 변화가 없이 안정적인 상태가 되는 결과로부터 강구 누르개 직경의 변동으로 인한 오차는 무시할 수 있다고 간주하였다.

3.3. 압입 자국 자동 측정 장치의 평가

브리넬 경도 시험기에 대한 KS B 5524의 규격을 보면 압입 자국의 측정장치로 0.05 mm까지 읽을 때 눈금오차가 ± 0.02 mm 이내이어야 한다고 규정되어 있다.²⁾ 일반적으로 쓰이는 압입 자국 측정 장치의 최소 눈금이 0.05 mm임을 고려하면 측정 장치 및 측정자의 개인오차가 경도값에 미치는 오차는 최소한 HB 150에서 약 2%, HB 300에서 약 3%에 이를 것으로 추정할 수 있다. 이러한 문제는 브리넬 경도뿐만 아니라 현미경으로 압입 자국을 관찰하면서 육안으로 길이를 측정하여 경도값을 산출하는 비커스 경도의 경우도 마찬가지이다.

최근 들어 계측기 제조기술의 발달과 함께 위의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 나오게 된 것이 적외선을 이용한 압입 자국 자동 측정장치이다. 아직 널리 보급되고 있지 않은 상태이나 압입 자국을 최소눈금 0.01 mm까지 측정할 수 있어 육안으로 측정하는 것에 비해 정밀도가 뛰어나고, 측정에 소요되는 시간도 약 3~4초로 매우 빠르며, 측정자의 피로도도 낮출 수 있다는 등의 장점이 있다. 그러나 무엇보다도 뛰어난 장점은 측정상의 개인별 오차를 제거할 수 있다는 점이다. Fig. 6은 브리

넬 경도 압입 자국 자동 측정장치 BOSS-5000이다.

압입 자국 자동 측정장치의 정밀도를 평가하기 위하여 브리넬 경도 기준편에 압입 자국을 만든 다음, 최소눈금이 0.0001 mm인 삼차원 공구현미경으로 압입 자국의 직경을 측정하여 기준 직경이 각각 4.87 mm와 3.4 mm인 압입 자국이 만들어진 것을 확인하고 이를 이용하여 압입 자국 자동 측정 장치의 정밀도를 평가하였다.

같은 압입 자국을 1회에 3반복 측정하면서 30회에 걸쳐 구한 측정 결과를 기준 직경과 비교하였다. 측정 결과의 평균과 기준 직경의 차이는 0.01 mm 이내 이었으며 이 값은 브리넬 경도 HB 150과 HB 300에 해당하는 압입 자국의 직경을 기준

Fig. 6. Automatic indentation measurement system, BOSS 5000.

Table 4. Results of geometric measurement of steel ball indenter.

Indenter No.	Diameter (mm)	Roundness (μm)	Remarks
1	9.9969	0,085	* Allowable limit of an indenter diameter according to ISO ¹²⁾ : $\pm 1\mu\text{m}$
2	9.9973	0,094	
3	9.9912	0,083	
4	9.9939	0,081	
5	9.9960	0,373	* Allowable limit of an indenter diameter according to ISO ¹²⁾ : $\pm 3\mu\text{m}$
6	9.9951	0,271	
7	9.9979	0,150	
8	9.9983	0,158	

으로 계산하면 각기 0.2% 및 0.3% 에 해당한다. 식 (5)에서 보면 압입 자국 직경의 오차로 인한 경도의 오차는 2배가 되므로 HB 150과 HB 300 에서의 경도값 오차는 각기 0.4% 및 0.6%가 된다. 자동 측정 장치를 이용하면 측정자의 개인 오차 Δd_e 가 0이 되므로 현미경을 이용하여 육안으로 측정할 때의 오차와 비교하면 압입 자국 측정 정밀도가 최소한 5배 향상되는 효과가 있다. 이 결과로부터 정밀도면에서만 보더라도 자동측정장치를 사용하는 것이 압입 자국 측정용 현미경을 사용하는 것보다 유리함을 알 수 있다.

3. 4. 경도 기준편을 이용한 종합 평가

경도 기준편을 이용하여 간접 교정을 실시할 경우에 대하여 ISO에서 규정하고 있는 $P/D^2 = 30$ 인 HB = 100~200, HB = 250~350 두 영역 중에서 각각 2개씩의 기준편을 선택하였다. 경도 기준편은 일본의 Asahi사에서 제작한 것으로서 일본의 경도 표준 보급기관인 JBI (Japan Bearing Inspection Institute)에서 시험 하중 3000 kgf, 압입 속도 50 $\mu\text{m/s}$, 하중 유지 시간 10초, 강구 직경 10 mm의 조건에서 경도를 측정하여 인증한 것이며 사용된 표준기의 하중정밀도는 $\pm 0.3\%$ 이고 계측현미경의 정밀도는 $\pm 1\mu\text{m}$ 인 것으로 기록되어 있었다¹³⁾. Table 5에 사용된 경도기준편의 인증값을 나타내었다.

종합정밀도 평가를 위해 SHT-5를 경도 기준편 인증 시험시의 조건과 동일하도록 조정하였고 강구로는 Table 4의 8번을 사용하였다. 종합정밀도

검사시 경도기준편이 가지고 있는 자체 흐트러짐의 영향을 무시할 수 없으므로 한국 공업 규격 KS B 5530 에 명시되어 있는 로크웰 경도 기준편 측정면 분할방법과 같은 방법으로 경도 기준편의 표면을 면적이 같도록 9등분한 후 측정점이 서로 겹치지 않는 곳을 선택하여 시편당 6회 측정하였다.¹⁴⁾ Table 6은 종합정밀도 측정 결과이며 표에서 보듯이 측정 결과의 오차 및 흐트러짐 모두 ISO 허용한계를 만족하는 것으로 나타났다. 오차의 크기는 경도 수준에 따라 달랐으나 HB 300을 기준으로 대략 1.3% 수준이라고 추정할 수 있다.

4. 결론

SHT-5의 시험 하중을 측정된 결과 평균 오차가 0.063%로서 ISO에서 규정하고 있는 표준경도시험

Table 5. Nominal hardness of standard blocks which were used for the verification of Brinell hardness tester.

Block No.	Hardness value	Variation
60654	317.0 HBS 10/3000	$\pm 1.1\%$
90880	214.5 HBS 10/3000	$\pm 1.3\%$
90681	305.5 HBS 10/3000	$\pm 1.1\%$
90682	313.0 HBS 10/3000	$\pm 1.1\%$
90875	219.0 HBS 10/3000	$\pm 1.3\%$
90886	214.0 HBS 10/3000	$\pm 1.3\%$

Table 6. Results of verification test with certified reference blocks.

Hardness of certified reference (\bar{X}_s)	Measured block Hardness (HB)			Average (\bar{X}_m) value	Error (\bar{X}_m) - (\bar{X}_s)		Dispersion	
					Measured imit	ISO allowable	Measured value	ISO allowable limit
HB 214.5	218.5	218.4	215.3	217.5	3.0 (1.4%)	3%	3.2 (1.5%)	2%
	218.4	216.9	217.6					
HB 317.0	320.7	320.9	322.3	320.9	3.9 (1.2%)	3%	2.6 (0.8%)	1%
	319.7	320.7	320.9					

기의 하중 정밀도 $\pm 0.1\%$ 를 충분히 만족하고 있고 호트러짐으로부터 구한 반복정밀도는 0.01%로서 매우 양호하였다. 강구 누르개의 변형으로 인한 오차는 무시할 수 있는 수준이었다. 또한 압입 자국 자동 측정장치는 수동으로 측정하는 경우보다 정밀도가 5배 이상 높은 것으로 나타났으며 오차는 0.3% 수준이었다. 식 (5)에서 압입 자국 측정 오차가 경도 측정 결과에 미치는 영향은 하중 오차의 2배이므로 이를 바탕으로 예상되는 총 오차를 계산하면 0.6% 내외라고 할 수 있으며 주요 오차원은 압입 자국 측정에서 유발되는 것이라고 결론지을 수 있다.

그러나 경도 기준편을 이용하여 측정한 결과를 보면 종합 정밀도가 대략 1.3% 수준으로서 시험기와 압입 자국 자동 측정 장치에서 유발되는 오차를 합산한 값보다 2배가 된다. 브리넬 경도 기준편의 호트러짐이 통상적으로 HB 2 내지는 3이므로 이로 인한 오차를 감안하면 위의 결과는 납득할만한 수준임을 알 수 있다. 지금까지의 결과로 보아 브리넬 경도의 정밀도 향상은 고품질의 기준편 개발에 달려 있다고 결론 지을 수 있다.

위의 결과들로부터 SHT-5가 브리넬 경도 표준기로 사용되기에 충분한 조건을 갖추고 있음을 확인할 수 있었으며 다음 단계로서는 SHT-5의 장기안정도를 평가하고 시험조건별로 측정결과에 미치는 영향을 고려하여 최적시험조건을 파악하는 것이 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술처의 후원아래 수행된 연구 결과임을 밝힙니다.

참고문헌.

- 1) 문한규 외, 정밀측정교재 85-006, 경도, 공업진흥청 (1985) 21.
- 2) V.E. Lasaght and A. DeBellis : Hardness Testing Handbook, American Chain Co., Inc. (1974)
- 3) 日本材料試験技術協會 : 現場の硬さ試験, 東京 (1989) 1-1.
- 4) 브리넬 경도 시험기, KS B 5524 (1980)
- 5) 브리넬 경도 시험 방법, KS B 0805 (1983)
- 6) 문한규 외, 브리넬 경도 기준편 개발에 관한 연구, KSRI-IR-18 (1981)
- 7) 방건웅 외, 국가표준분야확대, KRIS-95-022-IR, 과학기술처 (1995) 481.
- 8) 방건웅 외, 국가표준분야확대, KRIS-96-047-IR, 과학기술처 (1996) 343.
- 9) 방건웅 외, 국가표준분야확대, KRIS-97-005-IR, 과학기술처 (1997) 537.
- 10) Brinell Hardness Test, Part 1, Test method, ISO/DIS 6506-1 (1997)
- 11) 秦 勝一郎, ブリネル硬さ試験の誤差評價, 材料試験技術, 24(4) (1979) 31-37.
- 12) Brinell Hardness Test, Part 2, Verification of testing machine, ISO/DIS 6506-2 (1997)
- 13) Standard Block of Brinell Hardness, JIS B 7736
- 14) 로크웰 경도 시험 방법, KS B 5530 (1987)