

# 경도시험

실험조교: 안기웅

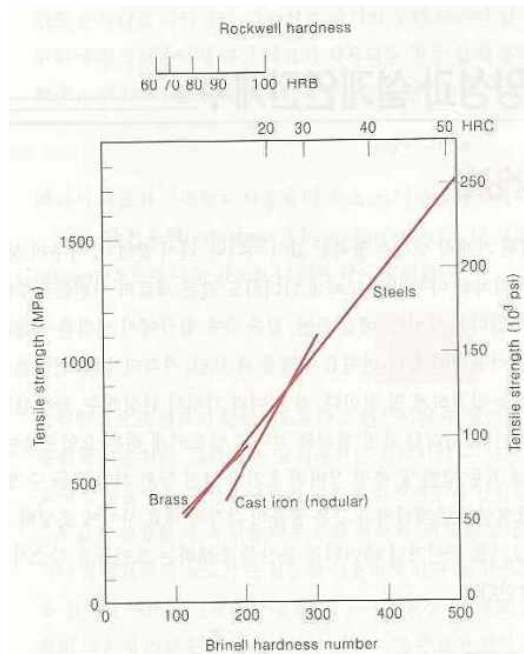
E-mail : keewoong1@gmail.com

레포트 제출 장소 : 종합실험동 107호

## 1. 실험목적

중요한 기계적 성질 중의 하나로 경도(hardness)는 국부 소성변형에 대한 재료의 저항성을 나타낸다. 예전의 경도 시험은 자연 광석에 대하여, 한 재료가 다른 재료에 흠을 낼 수 있는 가능성을 알아보기 위한 것이었다. 이를 바탕으로 연한 석회를 1로 하고 다이아몬드를 10으로 하는 모스(Mohs)스케일이라는 임의의 정량적 경도 식별법이 사용되었다. 정량적 경도 시험법은 하중 및 속도를 조절할 수 있는 조건에서 시험할 재료를 조그만 누름자로 표면을 누르는 방법으로 수년간 걸쳐 개발되었다. 눌린 자국의 깊이 또는 크기는 경도지수와 관련이 있어서 눌린 자국이 크고 깊을수록 경도지수는 더 작게 된다. 측정된 경도 값은 절대적이 아니라 상대적 의미를 가지므로 측정 방법이 서로 다를 경우에는 주의해야 한다. 이러한 경도 시험이 다른 기계적 시험보다 자주 행해지는 이유는 다음과 같다.

- ① 간단하고 비용이 저렴하며, 별도로 시편을 준비할 필요가 없다.
- ② 비파괴적인 시험 방법으로, 시편이 파괴되거나 과도한 소성이 일어나지 않는다. 소성변형이 일어난 부위는 단지 눌린 자국뿐이다.
- ③ 인장강도와 같은 다른 기계적 성질도 경도 시험을 통하여 유추가 가능하다.(그림 1 참조)



[그림 1] 강, 황동 및 주철의 경도와 인장응력간의 관계.

실험자는 브리넬(Brinell), 로크웰(Rockwell), 쇼어(Shore)경도시험을 통해 경도를 측정하고 경도의 기본개념을 이해하는 것에 본 실험의 목적이 있다.

## 2. 실험이론

### 2.1 브리넬(Brinell) 시험법

#### 2.1.1 시험원리

브리넬 경도라 함은 강구(鋼球) 누르개를 사용하여, 시험면에 구형 오목부를 만들었을 때의 하중을 영구 변형된 오목부의 지름으로부터 구해진 표면적으로 나눈 값을 말하며, 다음 식으로 계산한다.

$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HBW : 브리넬 경도 (<math>kg/mm^2</math>)</li> <li>- F : 하중 (N)</li> <li>- D : 강구의 지름 (mm)</li> <li>- d : 오목부의 지름 (mm)</li> </ul> <p>(<math>d=(d1+d2)/2</math>, <math>d1</math>=오목부의 가로 지름, <math>d2</math>=오목부의 세로 지름)</p>
---	--

#### 2.1.2 시험편

- 시험편의 시험면은 평면이어야 한다.
- 시험면의 평면도는 오목부의 지름을 0.01mm까지 쉽게 측정할 정도로 되어 있어야 한다. 단, 6(2)의 단서일 때에는 0.01을 0.05mm로 할 수 있다.
- 시험편의 두께는 오목부 깊이의 약 10배 이상으로 한다. 어느 경우나 오목부가 생기므로 일어난 변화가 시험편의 뒷면에 나타나지 않아야 한다. 깊이는 다음 식으로 구한다.

$t = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot HBW}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- t : 오목부의 깊이 (mm)</li> <li>- P : 하중 (<math>kg_f</math>)</li> </ul> <p>(시험편의 폭은 오목부 지름의 약 5배 이상으로 한다.)</p>
---------------------------------------	---

#### 2.1.3 실험장치



[그림 2] 전동식 브리넬 경도시험기

## 2.1.4 실험방법

- ① 파워케이블을 체크하고 파워스위치를 켜다.
- ② 시험강도를 선택한다. 시험강도는 5가지 시험강도를 선택할 수 있다.

시험강도(N)	시험강도(kgf)	추의 조합
1839	187.5	추걸이
2452	250	추걸이 + 1.25kg 추
7355	750	추걸이 + 1.25kg 추 + 10kg 추x1
9807	1000	추걸이 + 1.25kg 추 + 10kg 추x1 + 5kg 추x1
29420	3000	추걸이 + 1.25kg 추 + 10kg 추x5 + 5kg 추x1

(본 실험에서는 10mm의 강구를 사용하여 9807N의 힘으로 테스트를 수행하기로 한다.)

- ③ 시험강도의 홀딩타임을 설정한다.(10~15초)
- ④ 시편을 specimen table의 센터에 놓고 hand wheel을 부드럽게 회전시켜서 specimen table을 위로 올린다.
- ⑤ Hand wheel이 스킵드에 닿으면 회전을 멈추고 "Start" 버튼을 눌러서 시험을 시작.
- ⑥ 시험이 끝난 후 hand wheel을 시계반대방향으로 돌려서 specimen table을 아래쪽으로 내려서 시험체를 치운다.
- ⑦ 흠의 직경을 측정된 후 첨부한 부록(Appendix)에 나와 있는 표를 사용하여 경도치를 환산한다.

## 2.1.5 실험결과

시험횟수	1	2	3	평균( $\bar{X}$ )
측정값				

## 2.2 로크웰(Rockwell)시험법

### 2.2.1 시험원리

시험이 간단하고 특별한 기술이 필요하지 않으므로 가장 널리 쓰이는 경도 시험법이다. 이 시험법에는 여러 가지의 누름자(indenter)와 하중을 조합함으로써 사실상 가장 단단한 것에서부터 가장 무른 것까지 모든 금속과 합금을 시험할 수 있는 스케일(scale)이 있다. 누름자로는 지름이 1/16, 1/8, 1/4, 1/2in.(1.588, 3.175, 6.350, 12.70mm)인 경화 강구(steel ball)와 아주 단단한 재료의 시험을 위한 원추형 다이아몬드(Brale, 브레일) 누름자가 있다.

규정된 조건에 따라 누르개(다이아몬드 원추, 강 또는 초경 합금구 누르개)를 사용하여 시험면에 두 단계 하중을 가한다. 초기에 가한 기준 하중( $F_0$ , minor load)과 그 후에 가한 총 시험 하중( $F$ , major load)으로부터 생긴 침투 깊이의 차이(h)로 경도지수를 결정한다.

초기 기준하중을 작용시킴으로써 시험의 정확도를 높이게 되었다. 기준 하중( $F_0$ )과 총 시험 하중( $F$ )의 양에 따라 로크웰과 가상 로크웰의 두 가지 형태가 있다.

① 로크웰(Rockwell) 경도; Scale symbol : A~H, K

$$F_0 = 10kg_f(98.07N), F = 60, 100, 150kg_f(588.4, 980.7, 1471N)$$

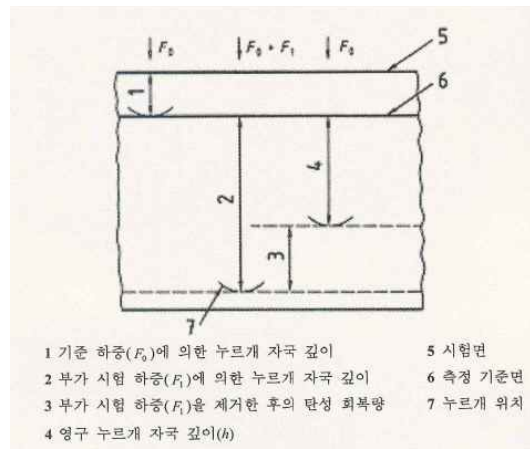
② 가상 로크웰(superficial Rockwell) 경도; Scale symbol : N, T

(※ 가상 로크웰 경로를 로크웰 표층 경도라 표기하기도 한다.)

$$F_0 = 3kg_f(29.42N), F = 15, 30, 45kg_f(147.1, 294.2, 441.3N)$$

로크웰 경도는 h(깊이; mm)와 두 상수 N(잣대에 따른 상수; B scale:130, C scale:100), S (경도 잣대 단위; B,C:0.002mm)로부터 아래 식에 의해 구한다.

$$HR(Rockwell\ Hardness) = N - \frac{h}{S}$$



[그림 3] Rockwell 시험의 원리도

## 2.2.2 기호 및 표시(그림2,표1 참조)

① A, C, D 잣대로 로크웰 경도는 경도값, HR 기호, 잣대를 나타내는 문자 순서로 표기한다.

예) 60HRC : C 잣대로 측정한 로크웰 경도 60

② B, E, F, G, H, K 잣대의 로크웰 경도는 경도값, HR 기호, 잣대를 나타내는 문자, 누르개의 종류(강구:S, 초경 합금구:W)를 나타내는 문자 순서로 표기한다.

예) 60HRBW : 초경 합금구의 누르개를 사용하여 B 잣대로 측정한 로크웰 경도

③ N 잣대의 로크웰 표층 경도는 경도값, HR 기호, 총 시험 하중을 나타내는 숫자, 잣대를 나타내는 N 문자 순서로 표기한다.

예) 60HR30N : 30kg<sub>f</sub>(294.2N)의 총 시험 하중, 30N의 잣대로 측정한 로크웰 표층강도 60

- ④ T 잣대의 로크웰 표층 경도는 경도값, HR 기호, 총 시험 하중을 나타내는 숫자, 잣대를 나타내는 T 문자, 누르개의 종류(강구:S, 초경 합금구:W)를 나타내는 문자 순서로 표기한다.

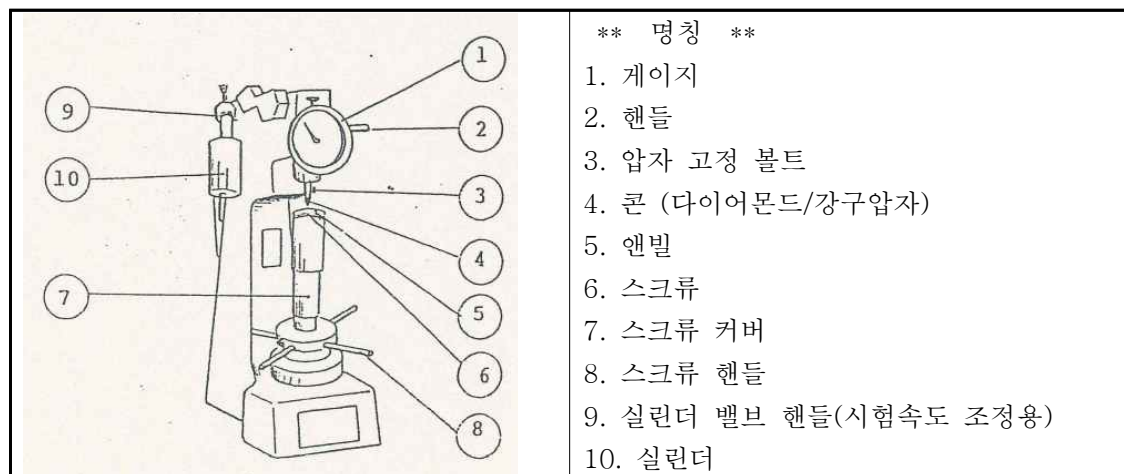
예) 60HR30TS : 강구의 누르개로 30kg<sub>f</sub>(294.2N)의 총 시험 하중, 30T의 잣대로 측정된 로크웰 표층 경도 60

[표 1] 로크웰 잣대(Rockwell scale)

로크웰 경도 잣대	경도 기호 <sup>(1)</sup>	누르개 형태 mm	기준 하중( $F_0$ ) N	부가 시험 하중( $F_1$ ) N	총시험 하중( $F$ ) N	적용 범위 (로크웰 경도 시험)
A	HRA	다이아몬드 원추형	98.07	490.3	588.4	20 HRA ~ 88 HRA
B	HRB	지름 1.5875mm 구형		882.6	980.7	20 HRB ~ 100 HRB
C	HRC	다이아몬드 원추형		1 373	1 471	20 HRC ~ 70 HRC
D	HRD	다이아몬드 원추형		882.6	980.7	40 HRD ~ 77 HRD
E	HRE	지름 3.175mm 구형		882.6	980.7	70 HRE ~ 100 HRE
F	HRF	지름 1.5875mm 구형		490.3	588.4	60 HRF ~ 100 HRF
G	HRG	지름 1.5875mm 구형		1 373	1 471	30 HRG ~ 94 HRG
H	HRH	지름 3.175mm 구형		490.3	588.4	80 HRH ~ 100 HRH
K	HRK	지름 3.175mm 구형		1 373	1 471	40 HRK ~ 100 HRK
15N	HR15N	다이아몬드 원추형		117.7	147.1	70 HR15N ~ 94 HR15N
30N	HR30N	다이아몬드 원추형	29.42	264.8	294.2	42 HR30N ~ 86 HR30N
45N	HR45N	다이아몬드 원추형		411.9	441.3	20 HR45N ~ 77 HR45N
15T	HR15T	지름 1.5875mm 구형		117.7	147.1	67 HR15T ~ 93 HR15T
30T	HR30T	지름 1.5875mm 구형		264.8	294.2	29 HR30T ~ 82 HR30T
45T	HR45T	지름 1.5875mm 구형		411.9	441.3	10 HR45T ~ 72 HR45T

주<sup>(1)</sup> 구형태의 누르개를 사용한 경우에 있어서, 강구 누르개를 사용하였을 때는 “S”를, 초경 합금구 누르개를 사용하였을 때는 “W”를 경도 기호 뒤에 붙인다.

### 2.2.3 실험장치



[그림 4] 수동 로크웰 경도 시험기

## ● 시험기 사양

### ① 하중

- 기준하중 :  $F_0 = 10\text{ kg}_f$  (98.07N)
- 총 시험하중 :  $F = 60, 100, 150\text{ kg}_f$  (588.4, 980.7, 1471N)

### ② 시료최대높이 : 210mm

### ③ 시료최대직경 : $\varnothing 210\text{mm}$

### ④ 본체 : 210×450×700mm

## ● 시험기 특징

- 압입 깊이를 직접 눈으로 읽을 수 있으므로 측정시간이 짧다.
- 원자재 및 열처리 제품까지도 광범위하게 측정할 수 있다.
- 비교적 연질의 재료까지도 정확히 측정할 수 있다.
- 유압식으로 되어 있어 작동, 시험하는데 매우 간편하다.

## 2.2.4 실험방법

- ① 앤빌하부 접촉면(5)은 오물 및 오일이 없도록 깨끗이 닦아서 끼운다.
- ② 시료(4)에 적합한 스케일을 선정하고 스케일에 맞는 누르개(다이아몬드 콘이나 강구)를 끼운 후 추를(60, 100, 150 $\text{kg}_f$ ) 맞추어 사용한다.(본 실험에서는 B scale(강구의 누르개, 100 $\text{kg}_f$ 의 추)을 사용한다.)
- ③ 핸들(2)를 상부로 위치시키고 스케일에 적합한 표준시편을 앤빌(5)에 올려놓는다.
- ④ 스크류 핸들(8)을 우측으로 돌려 게이지의 지시침을 3회 돌아갈 때 까지 돌려 소침이 적색점에 지시되도록 한다.(지시침의 위치는 중심 수직선상으로부터 좌우 5눈금 이내에 위치시킨다.)
- ⑤ 게이지(1)를 좌우로 돌려 SET 위치에 지시침이 정확히 위치하도록 맞춘다.
- ⑥ 핸들(2)을 뒤쪽으로 밀어 시험하중을 가한다.(하중 속도를 실린더 밸브핸들(9)을 조절하여 8-10초로 맞춘다.)
- ⑦ 지시침이 시계반대방향으로 움직이다 정지하고 핸들(2)이 정지한 후 핸들을 앞으로 당겨 상부에 원위치 시킨 후 다이아몬드콘일 경우 흑색숫자를 읽고, 강구압자일 경우 적색숫자로 경도치를 읽는다.
- ⑧ 경도치를 스크류 핸들(8)을 좌측으로 돌려 시료를 빼내고 다음 시험을 한다.

## 2.2.5 실험시 주의사항

- ① 시험기에는 시료와 앤빌과의 접촉면이 평면이 되도록 대략적으로 가공할 것.
- ② 시료에 적합한 스케일의 선정은 [표 1]을 참고한다.

## 2.2.5 실험결과

시험횟수	1	2	3	4	5	평균( $\bar{X}$ )	흐트러짐(R)
측정값							

※ 흐트러짐 = 최대측정값 - 최소측정값

## 2.3 쇼어(Shore) 시험법

쇼어 경도는 1906년 A.F.Shore가 켄칭처리한 강에 대해서는 브리넬구는 스트레인을 일으킨다는 것을 알게 되었으므로 충격법으로 경도를 규정할 것을 제한하였다. 쇼어경도시험은 일정한 높이에서 시험편에 해머를 수직으로 낙하 충돌시켜 그 반발높이를 기준으로 하여 경도값을 나타낸다. 이 시험기는 선단에 구형의 다이아몬드 팁(tip)이 박힌 무게 약 2.4gf의 해머를 254mm의 높이에서 낙하시켰을 때 켄칭한 고탄소강에서의 평균 반발높이를 눈금판에서 100으로 하였고, 연한 황동에서의 높이를 10으로 나타내도록 하였다. 그러나 다이아몬드 팁의 형상이나 해머의 반발비와 경도값의 관계등은 구체적으로 밝히지 않았다.

이와 같이 당초부터 경도값의 정의에 모호함이 있지만 한편으로는 시험기의 조작이 간편하고 시험이 신속하게 이루어진다는 점과 시험기의 가격이 저렴하고 경량이기 때문에 현장의 검사수단으로 널리 보급되었다. 이 장치는 스크레로스코프(scleroscope)이라고도 하며 정적 압입시험(브리넬, 로크웰)과는 달리 하중이 동적으로 작용한다.

- 정하중 : 시간이 변함에 따라 힘의 크기가 변하지 않는 하중 (압입경도 시험)
- 동하중 : 시간이 지남에 따라 힘의 크기가 변하는 하중 (쇼어경도 시험)

쇼어경도시험의 일반적인 특징으로는 시험기가 적고 중량이 가벼워서 휴대하기가 용이하며, 시험편에 아주 적은 흔적이 생기기 때문에 완성제품을 직접 시험할 수 있다. 또, 시험편이 비교적 적고 얇은 것도 측정이 가능하다. 쇼어경도시험기는 비교적 탄성률에 큰 차이가 없는 재료를 시험할 때에는 경도치의 신뢰성이 크지만, 고무와 같이 탄성률의 차이가 큰 재료에서는 부적합하다. 예를 들면 경질고무는 강철보다 큰 쇼어경도값이 나타나는 모순이 생길 수 있다. 그러나 탄성률과 쇼어경도값이 비례되는 것만은 아니다. 예를 들면 탄소강에서 C%에 따라 경도는 상당히 큰 차이가 있는 반면에 탄성률은 대체로 변화가 없다.

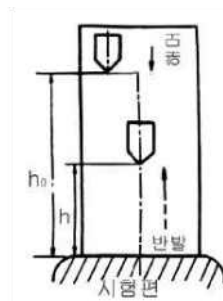
### 2.3.1 시험원리

쇼어경도의 측정원리는 지름 0.25", 길이 0.75" 의 강봉(steel bar)의 하단에 지름 0.02"의 다이아몬드 볼(Diamond ball)을 붙인 작은 해머(Hammer)를 10" 높이의 유리관내에서 연직으로 낙하시켜 시험편의 표면에 충돌해서 탄성에 의해 튀어오를 때 해머의 상단이 이르는 최고 높이를 관의 내벽에 붙여 둔 눈금을 읽으므로써 경도를 결정한다. 이 수치가 쇼어경도값( $H_s$ )이다. 쇼어경도( $H_s$ )란 시험편의 표면 위에 일정높이(낙하높이)  $h_0$ 에서 낙하시킨 해머가

튀어오른 높이(반발높이;rebound height)에 비례하는 값으로서 다음과 같은 식으로부터 쇼어경도를 결정한다.

$H_s \propto \frac{h}{h_0}$	- $H_s$ : 쇼어 경도값
$H_s = k \frac{h}{h_0}$	- $k$ : 쇼어경도를 결정하기 위한 비례상수
$H_s = k \frac{h}{h_0} = \frac{10.000}{65} \frac{h}{h_0}$ (고탄소강, C형)	- $h_0$ : 낙하높이
	- $h$ : 반발높이

세 번째 식의 산출근거는 담금질한 고탄소강을 시편으로 하고 C형 Shore경도계를 사용하여  $h_0 = 10"$  높이에서 해머를 낙하시킬 때 반발높이가  $h = 6.5"$ 가 되었을 때를  $H_s = 100$ 으로 정하고,  $h = 0$  와의 높이 차이인 6.5"를 100등분하여 쇼어경도의 눈금으로 정한다. 그러므로 쇼어경도의 단위 1은 해머가 반발하는 높이 0.065" (1.651mm)에 해당된다.



[그림 5] 쇼어경도시험의 측정원리

- 반발높이가 높을수록 재료가 단단하다.  $\Rightarrow$  경도가 크다.
- 경도에서는 경도 숫자가 클수록 재료가 단단하다.
- 낙하된 해머의 에너지는 그 일부가 시편의 변형에 사용되고, 남은 에너지는 반발하여 상승한다.
- $h$ 가 클수록 흠집이 덜 생긴다.  $\Rightarrow$  에너지 보존 법칙

### 2.3.2 시험편

- 시편은 평면이어야 한다.
- 시편이 얇으면 에너지가 진동으로 흡수되어 경도값이 제대로 나오질 않기 때문에 어느 정도 (0.1kg)이상이어야 하고, 시편은 시편 받침대의 경도값의 영향을 받지 않는 두께로 한다.
- 시편의 표면 거칠기가 매끄러워야 한다. ( $H_0 - 50$ 미만  $\rightarrow 6s$ ,  $H_s - 50$ 이상  $\rightarrow 3s$ )
- 쇼어 경도 실험할 때 표면에서부터 4mm 안쪽에 경도를 찍고, 다시 찍을 때에는 찍은 자리에서 1mm정도 떨어져서 찍는다.
- 연속해서 5회 이상 찍는다. (평균값을 적고 0.5단위로 쓴다.)



### 2.3.3 실험장치


쇼어경도계에서 목측형(目測型)으로는 구형인 C형이 있고 그것을 개량한 SS형이 있으며, 지시형(指示型)으로는 D형이 있다. C형 시험기는 D형 시험기와 비교해서 구조가 비교적 간단하고 해머가 작기 때문에 시험편의 질량에 따른 경도값의 변화가 작다는 장점이 있으나 해머의 반발 높이를 목측하지 않으면 안되기 때문에 숙달을 필요로 하고 측정자에 따른 개인오차가 나타나는 결점이 있다. 그래서 1970년대부터는 C형 시험기에 비해 복잡한 구조를 가지고 있지만, 조작이 쉽고 시험후 반발높이가 다이얼게이지 눈금판에 자동적으로 표시되는 D형 경도기를 사용하고 있다. D형 경도기는 다이얼게이지가 부착됐기 때문에 경도를 직접 읽을 수 있어서 개인오차가 작다.

- 다이얼게이지 : 원운동을 직선운동으로 바꾸어서 길이를 측정한다.
- 목측형 : 눈으로 직접 측정
- 지시형 : 눈금이 가리키고 있는 것을 측정

[표 2] 쇼어경도계의 낙하하중과 거리

경도계의 종류	낙하거리 ( $h_0$ )	해머(hammer)의 종류
C형(목측형)	10"	약 2.36 (g)
SS형(목측형)	10"	2.5 (g)
D형(지시형)	$\frac{3}{4}$ "	약 36.2 (g)
해머의 반발비와 경도값의 관계	$H_s = \frac{10.000 \cdot h}{65 \cdot h_0}$	$H_s = 140 \cdot \frac{h}{h_0}$

[표 3] 쇼어 경도시험기 및 사양

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 모델명 : D TYPE</li> <li>▶ 낙하거리 : 0.75"</li> <li>▶ 형식 : 지시형</li> </ul>
---	--

이 시험기는 길이가 약 100mm이고 직경이 약 8mm인 강철로 된 축의 선단에 C Type 시험기와 같은 모양의 다이아몬드 팁(diamond tip)을 박아 해머(Hammer)로 사용하고 있다. 해머의 작동과 반발높이의 지시장치는 해머가 반발하여 최고높이에 도달하였을 때 그 높이에 해당하는 경도값이 다이얼게이지(Dial Gauge)에 나타나도록 설계되었다.

### 2.3.4 실험방법

- ① 시험하기 전에 시편이 쇼어 경도시험을 하기에 충분한 조건을 가지고 있는지를 고려한다.
  - ▶ 깨지기 쉬운 재료 (유리, 도자기)는 실험을 못한다.
  - ▶ 동적시험이기 때문에 경도값이 시험편의 크기나 형상에 영향을 받게 된다.
- ② 시편을 준비한다.
  - ▶ 시편의 무게 : 0.1Kg이상
  - ▶ 시편의 두께 : 10mm 이상으로 20Kg 이상의 충분한 내력을 가져야 한다.
- ③ 시편을 sand paper로 연마한다.
  - ▶ 시편의 시험면이 거칠 경우에는 경도값이 저하하여 정확한 경도값을 얻을 수 없다.
  - ▶ 시험면이나 시험면의 뒷면은 거칠기보다 평면도가 중요하다.
  - ▶ 먼지나 기름 등이 있으면 해머의 충격에너지를 흡수하기 때문에 시험면과 시험면 뒷면은 모두 깨끗해야 한다.
  - ▶ 단단한 재료일수록 세심한 연마를 요한다.
- ④ 시험기를 진동이 없는 정반위에 놓고 시험기의 수평조정나사를 돌리면서 중앙부에 있는 진자추가 정가운데를 가리키도록 조정하여 수평을 맞춘다.
- ⑤ 시험편과 앤빌의 먼지나 기름 등을 깨끗이 닦는다.
- ⑥ 시험편은 평면시편을 사용하여야 하며 시험편을 시험기의 받침대 위에 수평(기울기  $5^{\circ}$  이내)으로 놓은 후 본체 좌측에 부착된 시험편 누름 핸들(상하로 이동)로 측정판을 내려 시험편을 받침대에 누른다.
  - ▶ 연직선에 대한 기울기가  $1^{\circ}$  이내이면 경도의 지시에 영향은 없으나, 기울기를  $5^{\circ}$  이내로 유지하는 것이 바람직하다.
  - ▶ KS규격에서는 20kgf이상의 힘을 주어 시험하도록 규정하고 있다.
  - ▶ 시험편을 누르는 힘이 불충분하면 본래보다 낮은 경도값을 나타내게 된다.
- ⑦ 조작바퀴 핸들을 우측으로 돌리고 있으면 해머가 시편의 표면에 떨어지는 찰칵 소리가나는데 이때 핸들에서 신속히 손을 떼는다.
  - ▶ 조작바퀴의 회전이 너무 늦어지면 해머의 낙하개시가 늦어져 경도값이 떨어진다.
  - ▶ 조작바퀴의 회전이 너무 빠르면 해머의 낙하위치에서 이미 초기속도를 가지게 되어 경도값이 높게 나온다.
- ⑧ 시편 표면에 해머가 낙하한 후 반발되어 튀어 올라감과 동시에 다이얼게이지의 경도 지침이 0 으로부터 최고 140 범위 내에서 함께 돌아간다.
- ⑨ 다이얼게이지의 지침이 가리키는 눈금의 수치를 읽으면 쇼어 경도 값이 된다.
  - ▶ 쇼어 경도는 원칙적으로 5회 연속하여 읽은 평균값으로 하는데, 명확하게 측정 상 잘못이 있을 때에는, 다시 측정 횟수를 증가시켜 유효값 5개를 구한다.
  - ▶ 경도값은 0.1단위까지 쉽게 읽을 수도 있지만 보통은 0.5또는 0.2단위까지 측정한다.
  - ▶ 평균값은 KS A 3251 - 1에 따라서 끝맺음하고, 정수로 표시하는 것을 원칙으로 한다.
  - ▶ 쇼어 경도는 경도기호 HS, 경도값의 순으로 표기하고( 예 : HS 25, HS 51 ), 사용하는 시험기가 C형 또는 D형인지를 명시할 필요가 있을 경우에는, 기호 C 또는 기호 D를 경도기호 HS 바로 뒤에 첨가하여 기입한다.( 예 : HSC 25, HSD 51 )

- ⑩ 시험편 누름핸들을 반대 방향을 돌려 시험편의 위치를 변경하여 같은 방법으로 조원이 돌아가면서 실험하고 측정값을 기록한다.
- ▶ 쇼어 경도 실험할 때 표면에서부터 4mm 안쪽에 경도를 찍고, 다시 찍을 때에는 찍은 자리 1mm에 떨어져서 찍는다.
  - ▶ 시험편 가장자리에서의 측정은 시험편에 대한 지지가 불충분해 본래의 경도값보다 작게 나오기 쉽다.
  - ▶ 시험자국의 주변에서는 가공경화 때문에 본래의 경도보다 높은 값을 얻게 된다.

### 2.3.5 실험결과

시험기			재 질	측정값								
모델명	낙하거리	형식		1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균

#### [ 보고서 작성 시 주의사항 ]

- ① 보고서 작성 기간은 실험날짜로부터 일주일이며 담당 조교의 E-mail과 종합실험동 107호에 출력하여 제출. 기간을 어길 경우 감점처리.
  - ▶ E-mail 제목 및 파일명 준수(경도시험\_A반1조\_32140000\_홍길동)
  - ▶ 반드시 조편성 시 나눠준 Hand-out에 기초하여 작성할 것.
  - ▶ 대용량 파일을 넘지 않도록 E-mail 송부할 것.
- ② 보고서 작성 시 참고한 문헌이나 Internet site는 참고문헌에 모두 표기할 것.
  - ▶ 참고문헌은 저자명, 책제목, 출판사, 인용페이지 순서로 작성할 것(인터넷을 참고했을 경우 주소 기입)
  - ▶ 예) William D.Callister, Jr., "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Wiley, pp. 169-174.
- ③ 결과 고찰에는 반드시 실험 결과에 대한 분석이 포함되어야 하며 다른 학생과 토의하는 것은 허용하나 고찰의 내용이 같다고 여겨질 시에는 두 보고서 모두 0점 처리함.
- ④ 로크웰, 브리넬, 쇼어 경도시험을 통해 얻은 결과를 비교하고, 환산표를 통해 이론적인 수치와도 비교해보도록 한다. 그 결과가 서로 유사한 값을 가지는지 비교하고 값이 다르게 나왔을 경우 왜 이러한 차이가 발생하였는지를 적는 것이 고찰에 반드시 포함되어야함.

[ Appendix ] 경도시험기 - 로크웰, 브리넬, 비커스, 쇼어 경도 환산표

비커스 경도 Hv	브리넬 경도 HB		로크웰 경도			쇼어 경도 Hs
	표준 볼	텅스텐 카바이트볼	HRA A스케일 하중 60kgf Barle 알자	HRB B스케일 하중 100kgf 1/16"볼	로크웰C스케일 H R C (하중150kgf)	
940	-	-	85.6	-	68	97
900	-	-	85.0	-	67	95
865	-	-	84.5	-	66	92
832	-	739	83.9	-	65	91
800	-	722	83.4	-	64	88
772	-	705	82.8	-	63	87
746	-	688	82.3	-	62	85
720	-	670	81.8	-	61	83
697	-	654	81.2	-	60	81
674	-	634	80.7	-	59	80
653	-	615	80.1	-	58	78
633	-	595	79.6	-	57	76
613	-	577	79.0	-	56	75
595	-	560	78.5	-	55	74
577	-	543	78.0	-	54	72
560	-	525	77.4	-	53	71
544	500	512	76.8	-	52	69
528	487	496	76.3	-	51	68
513	475	481	75.9	-	50	67
498	464	469	75.2	-	49	66
484	451	455	74.7	-	48	64
471	422	443	74.1	-	47	63
458	432	432	73.6	-	46	62
446	421	421	73.1	-	45	60
434	409	409	72.5	-	44	58
423	400	400	72.0	-	43	57
412	390	390	71.5	-	42	56
402	381	381	70.9	-	41	55
392	371	371	70.4	-	40	54
382	362	362	69.9	-	39	52
372	353	353	69.4	-	38	51
363	344	344	68.9	-	37	50
354	336	336	68.4	(109.0)	36	49
345	327	327	67.9	(108.5)	35	48
336	319	319	67.4	(108.0)	34	47
327	311	311	66.8	(107.5)	33	46
318	301	301	66.3	(107.0)	32	44
310	294	294	65.8	(106.0)	31	43
302	286	286	65.3	(105.5)	30	42
294	279	279	64.7	(104.5)	29	41
286	271	271	64.3	(104.0)	28	41
279	264	264	63.8	(103.0)	27	40
272	258	258	63.3	(102.5)	26	38
266	253	253	62.8	(101.5)	25	38
260	247	247	62.4	(101.0)	24	37
254	243	243	62.0	100.0	23	36
248	237	237	61.5	99.0	22	35
243	231	231	61.0	98.5	21	35
238	226	226	60.5	97.8	20	34
230	219	219	-	96.7	(18)	33
222	212	212	-	95.5	(16)	32
213	203	203	-	93.9	(14)	31
204	194	194	-	92.3	(12)	29
196	187	187	-	90.7	(10)	28
188	179	179	-	89.5	(8)	27
180	171	171	-	87.1	(6)	26
173	165	165	-	85.5	(4)	25
166	158	158	-	83.5	(2)	24
160	152	152	-	81.7	(0)	24

※ ( )내의 치는 상용범위외의 것임