

## 제 6 장 변위와 치수 측정

\* 참조: 참고문헌 (2) \*

### 6.1 서론

(참고문헌 2: 표 11.1)

Mechanical measurements 6<sup>th</sup> ed. Beckwith etc, Pearson Prentice Hall, 한철호 역

(1) 저분해능 장치 (1/100 in, ~ 0.25 mm)

강철자  
캘리퍼스

(2) 중 분해능 장치 (1/10,000 in, ~  $2.5 \times 10^{-3}$  mm)

마이크로미터  
버니어 게이지  
한계게이지

(3) 고분해능 장치 (수  $\mu\text{in}$ , ~  $2.5 \times 10^{-5}$  mm)

게이지 블록과 직접 비교하는 비교 측정기 사용

(4) 초고분해능 장치

레이저 간섭계

### 6.2 치수 측정에서의 문제

마모

접촉력

온도변화

### 6.3 Gage Block

#### (1) 개요

스웨덴 요한슨(Johanson) 개발  
특수공구강- 열처리-연삭-래핑-정마

재료:

초경  
ceramic

중앙치수: 측정면의 중심에서 측정  
최대치수-최소치수

Gage Block의 특징

- 광파장으로부터 직접 길이를 결정할 수 있다.
- 표시하는 길이의 정도가 매우 높다. (0.01  $\mu\text{m}$ )
- 측정면이 서로 밀착되는 특성을 가지고 있어 몇 개의 수로 많은 치수의 기준이 얻어진다.
- 사용이 편리하다.

#### (2) 게이지 블록의 등급 및 규격

\* Gage Block의 등급

| 등 급 |    | 사 용 목 적                          |
|-----|----|----------------------------------|
| 참조용 | 00 | 표준용 블록게이지의 정도 검사                 |
|     |    | 정밀학술 연구용                         |
| 표준용 | 0  | 검사용, 공작용 블록게이지의 정도점검, 측정기류의 정도검사 |
| 검사용 | 1  | 게이지의 정도 검사                       |
|     |    | 기계부품 및 공구 등의 검사                  |
|     |    | 게이지의 제작                          |
| 공작용 | 2  | 측정기류의 정도 조정                      |
|     |    | 공구, 절삭공구의 장치                     |

\* Gage Block 규격

**정도 사양: ASME B89.1.9-2002 (미국)**

| 공칭 길이 (mm) |         | K 급     |        | 00 급    |        | 0 급     |        | 1 급     |        | 2 급     |        |
|------------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|            |         | 치수공차    | 허용치수편차 | 치수공차    | 허용치수편차 | 치수공차    | 허용치수편차 | 치수공차    | 허용치수편차 | 치수공차    | 허용치수편차 |
|            | 0.5 이하  | ±0.30µm | 0.05µm | ±0.10µm | 0.05µm | ±0.14µm | 0.10µm | ±0.30µm | 0.16µm | ±0.60µm | 0.30µm |
| 0.5 초과     | 10 이하   | ±0.20µm | 0.05µm | ±0.07µm | 0.05µm | ±0.12µm | 0.10µm | ±0.20µm | 0.16µm | ±0.45µm | 0.30µm |
| 10 초과      | 25 이하   | ±0.30µm | 0.05µm | ±0.07µm | 0.05µm | ±0.14µm | 0.10µm | ±0.30µm | 0.16µm | ±0.60µm | 0.30µm |
| 25 초과      | 50 이하   | ±0.40µm | 0.06µm | ±0.10µm | 0.06µm | ±0.20µm | 0.10µm | ±0.40µm | 0.18µm | ±0.80µm | 0.30µm |
| 50 초과      | 75 이하   | ±0.50µm | 0.06µm | ±0.12µm | 0.06µm | ±0.25µm | 0.12µm | ±0.50µm | 0.18µm | ±1.00µm | 0.35µm |
| 75 초과      | 100 이하  | ±0.60µm | 0.07µm | ±0.15µm | 0.07µm | ±0.30µm | 0.12µm | ±0.60µm | 0.20µm | ±1.20µm | 0.35µm |
| 100 초과     | 150 이하  | ±0.80µm | 0.08µm | ±0.20µm | 0.08µm | ±0.40µm | 0.14µm | ±0.80µm | 0.20µm | ±1.60µm | 0.40µm |
| 150 초과     | 200 이하  | ±1.00µm | 0.09µm | ±0.25µm | 0.09µm | ±0.50µm | 0.16µm | ±1.00µm | 0.25µm | ±2.00µm | 0.40µm |
| 200 초과     | 250 이하  | ±1.20µm | 0.10µm | ±0.30µm | 0.10µm | ±0.60µm | 0.16µm | ±1.20µm | 0.25µm | ±2.40µm | 0.45µm |
| 250 초과     | 300 이하  | ±1.40µm | 0.10µm | ±0.35µm | 0.10µm | ±0.70µm | 0.18µm | ±1.40µm | 0.25µm | ±2.80µm | 0.50µm |
| 300 초과     | 400 이하  | ±1.80µm | 0.12µm | ±0.45µm | 0.12µm | ±0.90µm | 0.20µm | ±1.80µm | 0.30µm | ±3.60µm | 0.50µm |
| 400 초과     | 500 이하  | ±2.20µm | 0.14µm | ±0.50µm | 0.14µm | ±1.10µm | 0.25µm | ±2.20µm | 0.35µm | ±4.40µm | 0.60µm |
| 500 초과     | 600 이하  | ±2.60µm | 0.16µm | ±0.65µm | 0.16µm | ±1.30µm | 0.25µm | ±2.60µm | 0.40µm | ±5.00µm | 0.70µm |
| 600 초과     | 700 이하  | ±3.00µm | 0.18µm | ±0.75µm | 0.18µm | ±1.50µm | 0.30µm | ±3.00µm | 0.45µm | ±6.00µm | 0.70µm |
| 700 초과     | 800 이하  | ±3.40µm | 0.20µm | ±0.85µm | 0.20µm | ±1.70µm | 0.30µm | ±3.40µm | 0.50µm | ±6.50µm | 0.80µm |
| 800 초과     | 900 이하  | ±3.80µm | 0.20µm | ±0.95µm | 0.20µm | ±1.90µm | 0.35µm | ±3.80µm | 0.50µm | ±7.50µm | 0.90µm |
| 900 초과     | 1000 이하 | ±4.20µm | 0.25µm | ±1.00µm | 0.25µm | ±2.00µm | 0.40µm | ±4.20µm | 0.60µm | ±8.00µm | 1.00µm |

\* 별도의 성적서 첨부됨.

K급은 레이저인터페로미터를 사용한 성적서 첨부.

Gage Block Set (예)

| 크기 (mm)          | 스텝 (mm) | 수량 (ea) |
|------------------|---------|---------|
| 1.005            |         | 1       |
| 1.001 -<br>1.009 | 0.001   | 9       |
| 1.01 - 1.49      | 0.01    | 49      |
| 1.6 - 1.9        | 0.1     | 4       |
| 0.5 - 24.5       | 0.5     | 49      |
| 30 - 100         | 10      | 8       |
| 25, 75           |         | 2       |
|                  |         | 122     |

| 크기 (mm)     | 스텝 (mm) | 수량 (ea) |
|-------------|---------|---------|
| 1.005       |         | 1       |
| 1.01 - 1.19 | 0.01    | 19      |
| 1.2 - 1.9   | 0.1     | 8       |
| 1 - 9       | 1       | 9       |
| 10 - 100    | 10      | 10      |
|             |         | 47      |

Gage Block 교정실 표준

| 등급 | 측정실의 온도       | 정밀도 µm    | 검사주기 |
|----|---------------|-----------|------|
| 00 | 20 °C ±0.2 °C | 0.06 µm이하 | 1회   |
| 0  |               |           | 4회   |
| 1  | 20 °C ±0.5 °C | 0.08 µm이하 | 2회   |
| 2  | 20 °C ±1 °C   |           |      |

사용법: 표면의 방청유를 휘발유로 세척  
 밀착시켜서 사용  
 휘발유로 세척, 방청유를 도포

(3) 게이지 블록의 조립

(참고문헌 1; Fig. 11.4)

Mechanical measurements 6<sup>th</sup> ed. Beckwith etc, Pearson Prentice Hall, 한철호 역

(4) 게이지 블록 보조 장치

#### 6.4 정반 (Surface Plates)

주철

화강암

오래된 것으로 잔류응력이 적다

공구의 충격에 휘어지지 않음 (잔류응력이 없음)

부식되지 않음

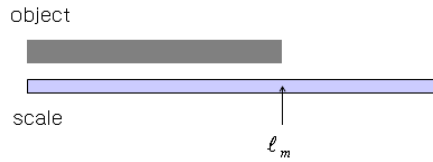
## 6.5 온도 변화가 길이측정에 주는 영향

표준측정온도 20°C (68°F)

### \* 온도의 영향

길이측정의 표준온도 ; 20°C

프랑스 미터원기; 0°C 기준



$\alpha_1$  ; 측정기 재료의 열팽창 계수

$\alpha_2$  ; 피측정물의 열팽창계수

t °C에서 읽은 scale 의 눈금  $l_m$  의 실제길이:  $l_m + l_m \cdot \alpha_1 \cdot (t - 20)$

표준 온도 20°C에서 길이 L 인 물체의 t °C에서 길이:  $L + L \cdot \alpha_2 \cdot (t - 20)$

$$l_m + l_m \cdot \alpha_1 \cdot (t - 20) = L + L \cdot \alpha_2 \cdot (t - 20)$$

그러므로

$$L = l_m \frac{(1 + \alpha_1 \cdot (t - 20))}{(1 + \alpha_2 \cdot (t - 20))}$$
$$\approx l_m (1 + (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (t - 20))$$

## 6.6 비교측정기 (Comparator)

### (1) 비교 측정 방법

dial gage-block gage

Go-Stop gage의 교정

예제) 블록게이지와 다이얼 게이지를 이용하여 비교측정한다.

공칭치수 10 mm 인 블록게이지를 사용하여, 다이얼게이지의 0점을 세팅하고, 블록게이지를 빼고, 그 자리에 물체를 놓고 다이얼 게이지로 길이를 측정하였을 때 다이얼 게이지의 눈금이 15 mm 이다.

블록게이지 길이 오차는 2  $\mu\text{m}$  이고, 다이얼게이지의 오차는 -1  $\mu\text{m}$ 이다.

이때 물체의 실제 길이는 얼마인가 ?

웁셋은 더하고, 측정 오차는 빼준다.

블록게이지 공칭치수 10 mm, 다이얼 게이지 측정된 길이 15 mm 라면,

=> 물체의 길이는 10 + 15 mm

그러나

블록게이지의 실제 길이는 (공칭치수 + 블록게이지 치수오차)

0점으로 세팅된 위치부터 읽은 대상물체의 실제 길이는 (다이얼 게이지 읽은 값 - 측정 오차),

대상물의 전체의 실제 길이=(0점부터 측정된 물체의 실제 길이 + 블록게이지의 실제 길이)

따라서

블록게이지의 실제 길이는 (10 + 2  $\mu\text{m}$ )

0점으로 세팅된 위치부터 읽은 대상물체의 길이는 (15 - (-1  $\mu\text{m}$ )) 이므로,

대상물의 전체 실제 길이는 (10 + 2  $\mu\text{m}$ )+(15 - (-1  $\mu\text{m}$ ))

## (2) 공압식 비교 측정기

경험식 (Graneek)

$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \frac{P_s}{P_i} - \frac{P_i}{P_s}$$

$$\frac{O_i}{P_s} = 1.10 - 0.50 \frac{A_2}{A_1}$$

Remark)

공기마이크로미터

치수의 변화 <-> 공기의 유량 또는 압력의 변화  
유량식, 배압식, 진공식

저압식: 0.05 ~ 0.2 kgf/cm<sup>2</sup>

중압식: 2.0 kgf/cm<sup>2</sup>

고압식: 2.0 kgf/cm<sup>2</sup> 이상

### \* 유량식 공기 마이크로미터

노즐과 물체사이의 면적에 따라 유량이 변화  $Q \propto \pi dh$

틈새의 크기 h 가 0.015mm 까지는 마찰의 영향

틈새의 면적  $\pi dh$  가  $\pi d^2/4$  와 유사할 때 비선형성 발생

### \* 배압식

유량변동에 따른 관 내부의 압력을 측정; 수은주, 벨로우즈, Bourdon관

### \* nozzle-flapper 방식

$$Q = c_1 s_1 \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{\gamma}}$$

$$= c_2 s_2 \sqrt{\frac{2gp_2}{\gamma}}$$

$$s_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad s_2 = \pi d_2 h$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} &= \frac{1}{1 + \left(\frac{c_2 s_2}{c_1 s_1}\right)^2} \\ &= \frac{1}{1 + \left(\frac{4c_2 d_2}{c_1 d_1}\right)^2 h^2} \end{aligned}$$

- 압력조절기의 정확도가 영향을 줌.

- 작은 내경측정에 사용 가능

## 6.7 측정 공구

### (a) 자 및 표준자

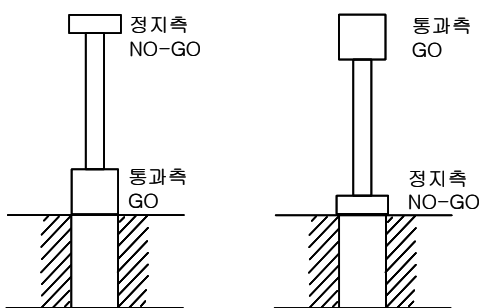
재료: 58% 니켈강, 강 과 같은 팽창율의 유리

X, H, U형

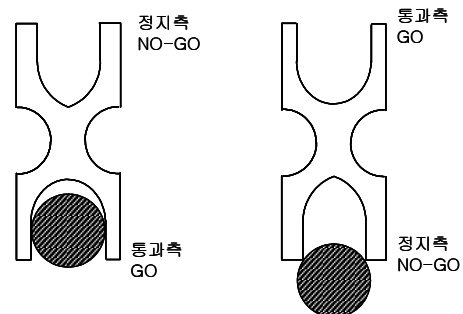
### (b) 표준게이지

- \* 표준원통게이지  
플러그 게이지/링 게이지
- \* 표준나사게이지  
원통형 게이지 형태에 나사가 되어있다. (plug/ring gage)
- \* 표준테이퍼게이지  
원통형 게이지 형태에 테이퍼가 되어있다.  
선반: 모오스(Morse taper)  
밀링: Brown & Sharpe taper

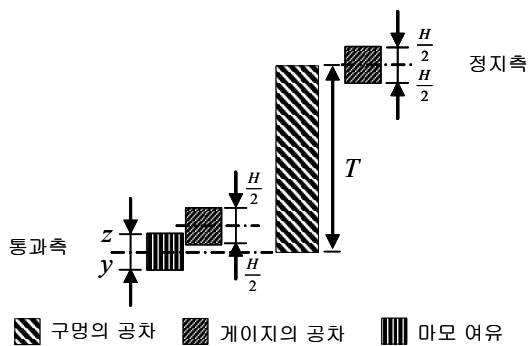
### \* 한계게이지



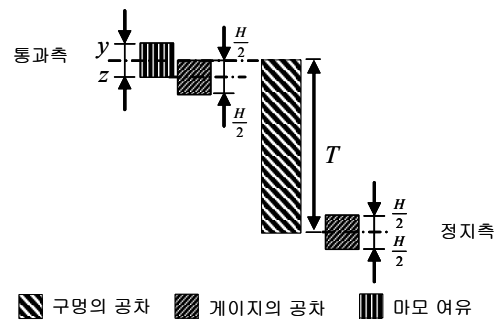
(a) 구멍용 게이지



(b) 축용 게이지



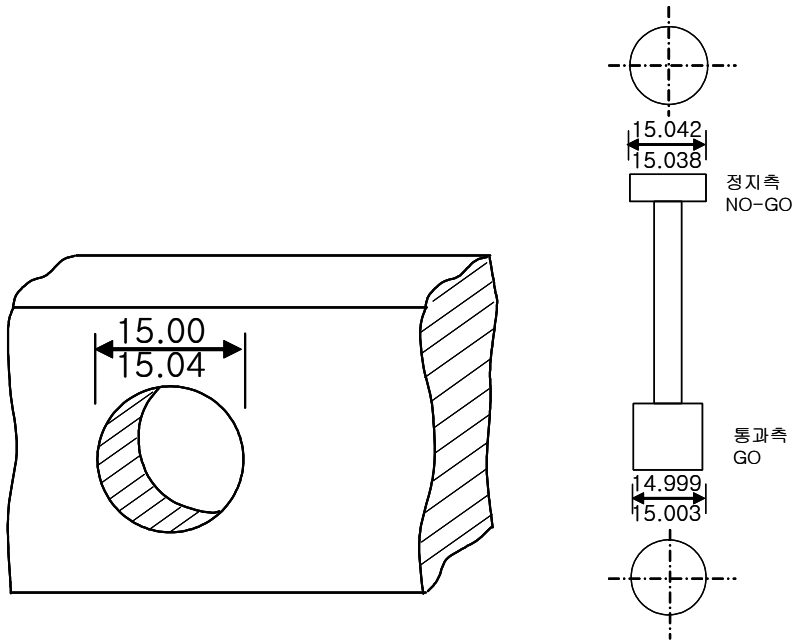
(c) 구멍용 게이지 치수



(d) 축용 게이지 치수



예) 구멍용 한계게이지



- \* 간극(thickness) 게이지  
미세한 간극을 측정  
0.03mm ~ 0.5mm
- \* 반지름(radius) 게이지  
반경측정
- \* center 게이지
- \* 피치게이지  
나사의 피치검사용, 기어의 치형 검사용
- \* wire gage  
선재의 지름을 측정  
번호가 큰 것->지름이 작다.
- \* drill gage  
드릴의 직경검사

(c) 각도의 표준 및 공장용 표준기

각도: 원주의 길이와 원의 반지름의 비  
유도단위

(c-1) 각도게이지

\* Johansson형의 각도게이지

(50mm X 20mm X 1.5mm) 85개 또는 49개

정밀도:  $\pm 12''$

10° ~ 11°1' 식 15개, A형

0° ~ 90°1' 식 40개 ; A형 7개, B형 33개

89° ~90°1' 식 30개 C형

사용법; 2장씩 맞대어서 사용

1' 또는 5' 간격 (정밀도  $\pm 24''$ )

10° 이하, 350° 이상은 1° 간격으로

\* NPL형 각도게이지

1941, G.A.Tomlinson

41°, 27°, 9°, 3°, 1°, 27', 9', 3', 1', 30", 18", 6"

밀착방향을 바꾸면 각도를 +, 또는 -

(c-2) Polygon거울

측면을 정밀하게 가공

8면체, 12면체

(c-3) 각자(square)

(c-4) 눈금원판

## 6.8 측장기

### 6.8.1 측정용 현미경

- 1) Fixed scale microscope
- 2) Fillar microscope
- 3) Traveling & traveling-Stage microscope
- 4) Draw tube microscope
- 5) 초점맞춤 (focusing)



Tool Scope (측정현미경)

## 6.8.2 측정기

### (a) 일반구조

표준자, 미끄럼대, 측미현미경, 지지장치, 측정대

앤빌 사이에 피측정물을 삽입하고, 눈금을 읽어서 길이를 측정

### (b) Abbe's comparator principle

표준자의 눈금면과 측정축이 일치하는 구조 => 베드의 오차영향이 적다.

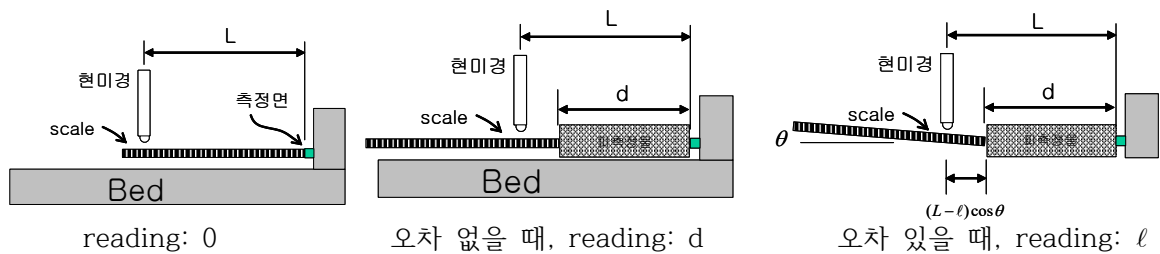
“시선에 대해 직각인 방향으로 측정을 행할 때에는, 현미경을 이동시키지 말고 피측정물을 움직여서 측정해야 한다.”

#### (i) Abbe의 원리에 의한 측정기

$L$  : 측정면과 현미경간의 거리

$d$  : 물체의 길이

$\ell$  : 현미경으로 읽은 눈금



$d - \ell$  : 측정오차

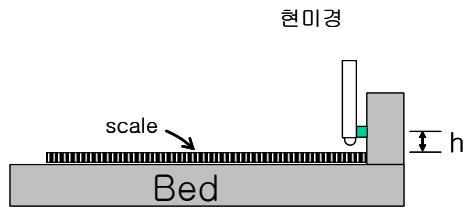
$$(L - \ell) \cos \theta + d = L$$

$\theta \ll 1$  이므로

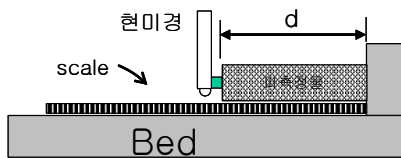
$$d - \ell = (L - \ell) \theta^2 / 2$$

(ii) Abbe의 원리에 맞지 않는 측정기

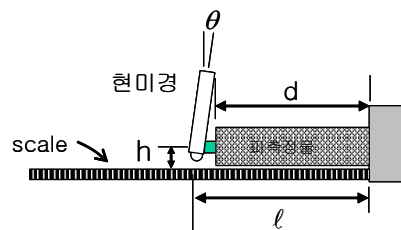
현미경이  $d$  만큼 이동할 때  $\theta$  만큼 기울어지면  
 $h$ : 측정축선과 표준자 눈금면 간의 거리



reading: 0



오차 없을 때, reading:  $d$



오차 있을 때, reading:  $l$

측정 오차:

$$l - d = h \tan \theta$$

$$\approx h \cdot \theta$$

예제) 다음의 각각의 경우에 허용할 수 있는 경사각도는 ?

(i) Abbe의 원리에 의한 측정기

$L=150\text{mm}$ : 측정면과 눈금자의 영점거리

$d=100\text{mm}$

오차  $d - l = 0.1\mu\text{m}$

$$1\text{rad} = 360^\circ / 2\pi \times 60 \times 60 = 2.06 \times 10^5 \text{sec}$$

$$d - l = (L - l) \theta^2 / 2 \text{ 으로부터}$$

$$\theta = 2.06 \times 10^5 \sqrt{2(d - l) / (L - l)}$$

$$= 2.06 \times 10^5 \sqrt{2 \times 0.0001 / (150 - 100)}$$

$$= 400''$$

(ii) Abbe의 원리가 아닌 측정기

$$h=50\text{mm}$$

$$d-l = h \tan\theta \text{로부터}$$

$$\approx h \cdot \theta$$

$$\theta = \frac{d-l}{h}$$

$$= 0.0001/50$$

$$= 2 \times 10^{-6} \text{rad}$$

$$= 2 \times 10^{-6} \times 2.06 \times 10^5$$

$$= 0.4$$

아베의 원리의 적용

\* 선반공구대의 위치결정

정밀가공을 위해서 공구 끝 날의 위치를 정확하게 결정해야함

가로이송대의 위치는 핸들주위의 눈금과 이송대의 축이 일치하기 때문에 아베의 원리에 맞음

공구 끝 날의 위치는 가로이송대의 중심에서 높이 h 만큼 떨어져 있음.

눈금선, 공구 끝날, 공작물의 중심이 같은 평면상에 있을 때에 고정도의 위치결정이 가능

3차원측정기에서 상하방향 (Z)축은 아베의 원리에 맞으나 X, Y축은 맞지 않음.

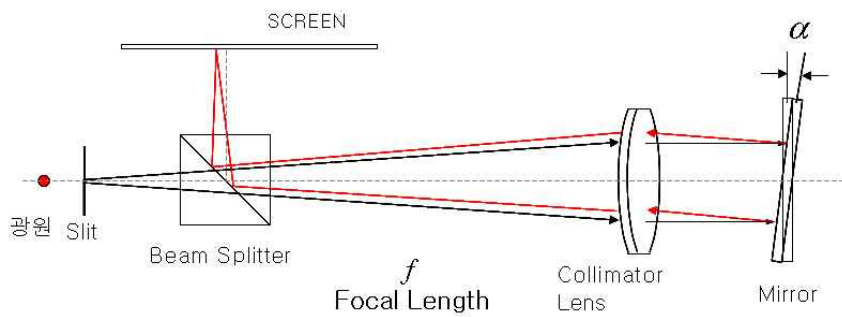
## 6.9 Autocollimator

대형 기계의 제작, 조립  
(참고문헌 1: section 11.16)

alignment telescope  
collimators  
autocollimators  
accessory

초점에 눈금있는 유리판 배치하고 렌즈로 평행광을 얻는 장치  
오토콜리메이션 현미경

straightness, parallelism, tilt: milling table  
flatness : 정반  
position uncertainty : index table 의 회전각도  
squareness : 밀링의 스피들 축  
centering, adjustment : 선반의 주축  
angle measurement : 프리즘의 직각도



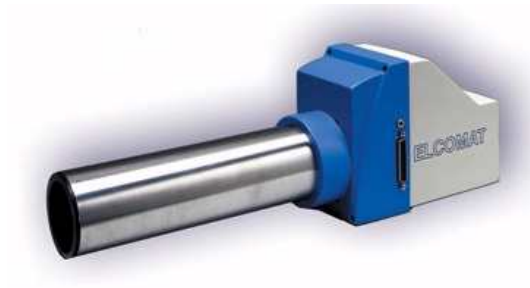
$$d = \tan(2\alpha) \cdot f$$

$$\approx 2 \cdot \alpha \cdot f$$

- 육면체의 직각도 검사  
펜타프리즘 사용



<http://www.moeller-wedel-optical.com>



### 6.10 투영기

<http://www.mitutoyokorea.com/>



PJ-A3010F-200  
302-701K

### 6.11 공구현미경



MF-B1010B



비전 유닛

PC 시스템 및 공구 현미경은 선택 사항



### 6.12 삼각법을 이용한 변위 측정기

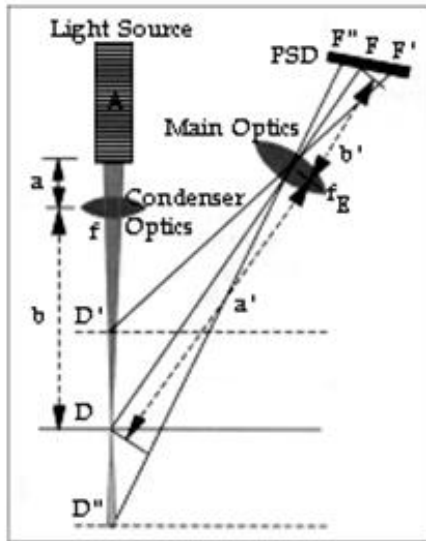


Figure 1.  
The triangulation probe.

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f_E}$$

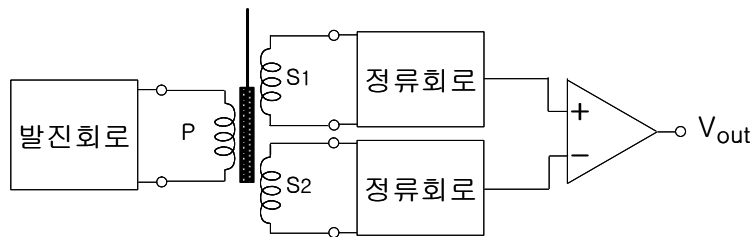
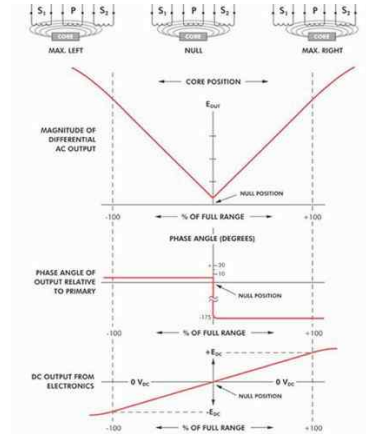
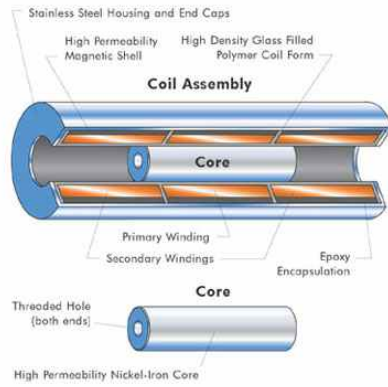
### 6.13 미끄럼 접촉장치

가변 저항: 위치에 따라 저항 값이 변화

접촉부의 마모에 의하여 내구성이 떨어짐.

## 6.14 Differential Transformer

Linear Variable Differential transformer (LVDT)



1차코일에 교류전압 인가; 5kHz, (400Hz ~ 50KHz)

2차코일의 유기전압  $e_1$ ,  $e_2$ 의 차이를 이용

직류LVDT;

transistor 발진기와 정류기를 내장

장점;

- 측정범위가 넓음; 0.01mm ~ 100mm
- 측정정도, 감도, 직선성, 내구성등이 우수
- 1차 변환만 한다. (2차변환이 필요없음)
- 기계적 과부하가 없음, 절연, frictionless
- 온도에 민감하지 않음
- 높은 출력 (증폭작용 필요없음)

unique feature of LVDT

- o frictionless
- o infinite mechanical life
- o infinite resolution
- o null repeatability - no drift
- o complete isolation

단점:

철심의 무게가 크다. (동특성이 불량)

이용례:

- 오리피스식 유량계
- 면적식 유량계: float이용
- 판두께의 측정
- 하중계: 힘에 의한 스프링변형을 LVDT로 측정

### 6.15 Surface roughness 측정

stylus

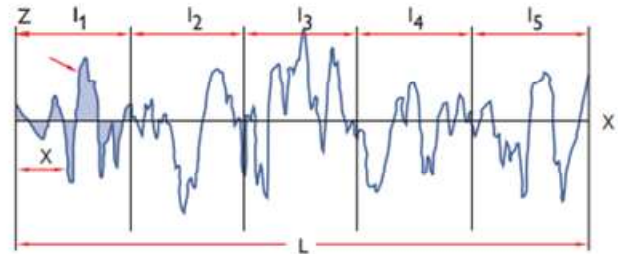
laser (non-contact)

\* 표면거칠기의 표시

평균거칠기; Ra (미국규격)

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x) - h| dx$$

$$h = \frac{1}{L} \int_0^L z(x) dx$$



최대; Rmax (한국규격)

$$R_{max} = |z_{min} - z_{max}|$$

RMS; Rrms

$$\epsilon = z(x) - h$$

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{n}}$$

$R_{rms}$  가  $R_a$  보다 11% 크다.