

Strain Gauge Type 傾斜計의 振動特性에 관한 研究

(A Study on the vibro-characteristics of
the Strain Gauge Type Clinometer)

玄 榮 珍*
梁 仁 洪**

目 次

1. 緒 論
2. 原 理
 - 2.1. Strain Gauge Type 傾斜計
 - 2.1.1. 檢出部
 - 2.1.2. 變換部
 - 2.2. LVDT Type 傾斜計
 - 2.1.1. 檢出部
 - 2.1.2. 變換部
3. 實驗方法 및 裝置
 - 3.1. 靜特性
 - 3.2. 動特性
 - 3.2.1. 連線의인 外部振動의 振幅變化에 따른 指示값의 變化
 - 3.2.2. 衝擊의 damping 效果
4. 實驗結果 및 考察
 - 4.1. 靜特性
 - 4.1.1. 直線性
 - 4.1.2. 感 度
 - 4.1.3. 指示 誤差
 - 4.2. 動特性
5. 結 論

* 이공대학 전임강사

** 해양과학대학 강사

NOMENCLATURE

- e : Error
E : Sensitivity ; Young's modulus
F.S : Full scale
L : Length
 θ : Angular displacement
 x : Core displacement
W : Weight of pendulum
 w_1, w_2, w_3 : Weight intensity
M : Bending moment
Z : Section modulus
 σ : Stress due to bending moment
 ϵ : Strain due to bending moment
b : Width of cross-sectional area
h : Height of cross-sectional area
 π : 3.14

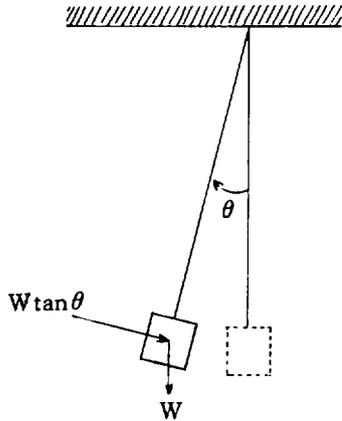
1 . 緒 論

傾斜計는 構造物에 인접한 土木工事나 地盤의 自然沈下 等に 의하여 發生하는 傾斜量을 測定하는 計器이며, 最近에는 精密한 測定을 爲하여 變位量을 電氣量으로 變換하는 데 있어서 角度變位の 檢出方式 및 制動方法에 따른 諸特性에 관한 문제가 제시된다. 본 실험 보고서에서는 變換素子로서 差動變壓器(LVDT)와 strain gauge type 의 2가지를 써서 그 특성을 비교하여 보고자 한다.

2. 原理

2.1. Strain Gauge Type 傾斜計

2.1.1. 檢出部



傾斜計를 θ 만큼 角變位시키면, 복원력 $W \tan \theta$ 에 의하여 cantilever beam에 應力이 생긴다. 이 應力에 의하여 strain 이 발생하고 이것을 strain gauge로 受感하여 브리지 回路를 통하여 strain을 檢出한다.

여기서는 감도를 높이기 위해서 4-gauge 法을 使用하였으며, 이 때 자체적으로 온도보상이 이루어진다.

fig.1 은 檢出원리를 나타낸다.

fig.1. Principle of strain gauge type clinometer.

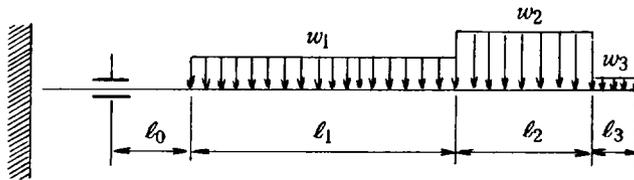


fig.2. State of stress in cantilever beam.

fig.2 와 같은 외팔보에 있어서 strain gauge 中央點에서의 굽힘모멘트는 다음과 같다.

$$M = w_1 l_1 (\ell_0 + \ell_1 / 2) + w_2 l_2 (\ell_0 + \ell_1 + \ell_2 / 2) + w_3 l_3 (\ell_0 + \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 / 2) \dots \dots \dots (1)$$

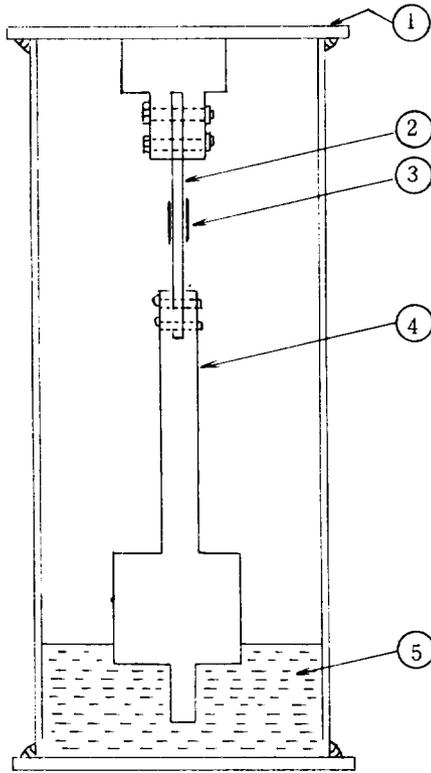
이 때 作用하는 應力은 단면계수를 Z 라 하면,

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{M}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{6M}{bh^2} \dots \dots \dots (2)$$

늘어난 길이는,

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6M}{Ebh^2} \dots \dots \dots (3)$$

으로 구해진다.



No.	Discriptions
1	frame (cylinder)
2	plate spring
3	strain gauge
4	lod and pendlum unit
5	dampner

fig.3. Basic feature of strain gauge type clinometer.

2.1.2. 變換部

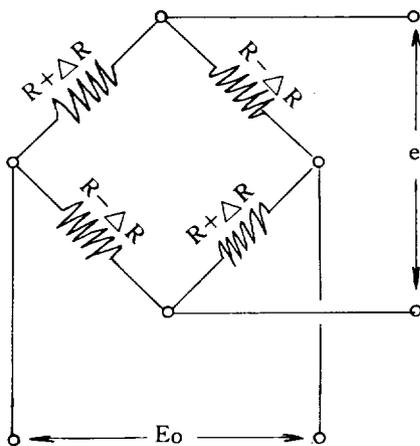


fig.4. Bridge circuit of strain gauge type clinometer.

4개의 gauge 가 모두 strain 을 느끼고 초기 저항값이 모두 같으므로,

$$e = E_0 \frac{\Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4}{2 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_3}{R_4}}$$

$$= E_0 \Delta R \dots \dots \dots (4)$$

으로 되며, 여기서 검출된 strain 은 실제 계산된 strain 값의 4배가 된다.

$$\frac{\Delta R}{R} = F \cdot \epsilon \dots \dots \dots (4-a)$$

여기서 F는 gauge factor로 2.09이다.

本 실험에서는 폴리에스테르 베이스 선계이지를 사용하였는데, 그 특성값은 表 1 과 같다.

Table 1. Characteristic value of strain gauge.

TYPE	N11-FA-5-120-11-VSEI
Gauge Length	5 mm
Resistance	120.0 ± 0.3 (Ω)
Gauge factor	2.09 ± 1 (%)
Temp. Comp.	STEEL 11 ppm/°c
Thermal output	±2 με/°c
Lot No.	1130-221

이 폴리에스테르 선계이지의 strain 한계는 게이지 저항이 120 Ω 게이지 길이가 7 mm일 때 $18,600 \times 10^{-6}$ 이므로 실험에 사용된 게이지는 5 mm이므로, 한계 strain은 이보다 저하하나 본 실험에서는 최대 스트레인이 138×10^{-6} 이므로 이 영향에서 벗어난다.

2.2. LVDT Type 傾斜計

2.2.1. 檢出部

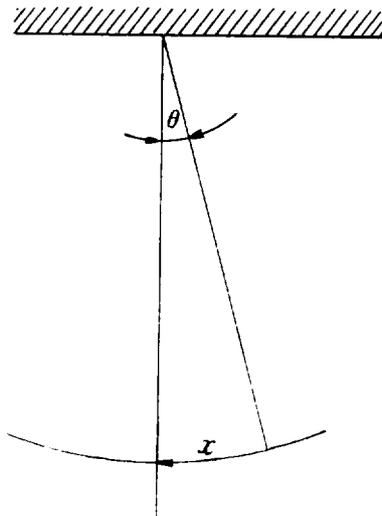


fig. 5. Principle of LVDT type clinometer.

角度變位 θ 가 작은 값을 가지므로 角度變位 θ 에 의한 core의 水平位置가 圓周上의 실제변위와 같다고 보면, 그림 5에서 보는 것과 같이 core의 變位 x 와 傾斜角 θ 와의 關係는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{2\pi\ell}{x} = \frac{360 \times 60 \times 60}{\theta} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, ℓ : 曲率半徑 (mm)

θ : 角度變位 (")

x : core의 變位量 (mm)

이다.

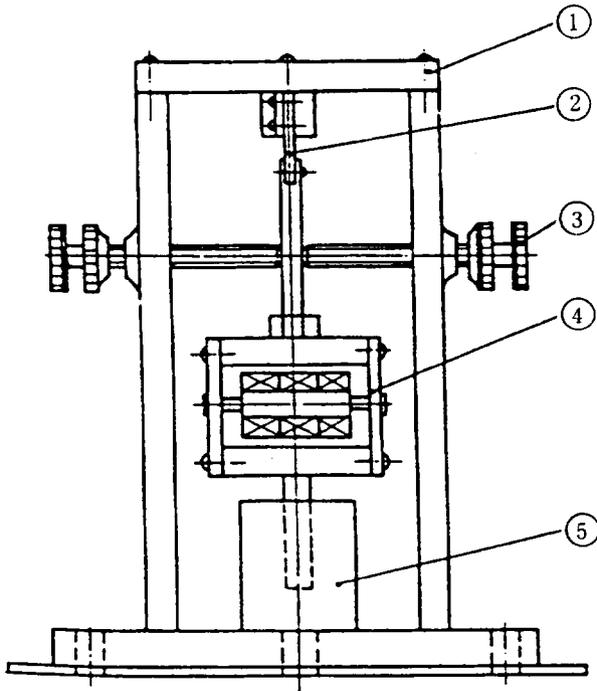
따라서 感度 E 는

$$E = \frac{x}{\theta} = \frac{2\pi\ell}{360 \times 60 \times 60} \dots\dots\dots (6)$$

으로 나타낼 수 있으며 工業的으로는 다음과 같이 逆數로 表示한다.

$$\frac{1}{E} = \frac{\theta}{x} = \frac{360 \times 60 \times 60}{2\pi\ell} \dots\dots\dots (7)$$

fig. 6은 LVDT type 傾斜計의 기본 구조이다.



No	Discription
1	fame
2	spring
3	stoper
4	LVDT
5	damper

fig.6. Basic feature of LVDT type clinometer.

2.2.2. 變換部

LVDT를 使用하여 core가 沿直과 이루는 角度變位量을 出力電壓으로 交換한다. LVDT는 磁氣抵抗의 變化 또는 實效的인 透磁率의 變化를 이용한 것으로 그림 7에서 보는 바와 같이 2次 coil을 差動的으로 結線하고 中央의 core를 加動한 것이다. 이와 같이 하면 2次 coil에 生기는 誘起電壓 e_1 과 e_2 는 크기가 같고 位相이 180° 다르므로 出力은 0이 된다. core가 上下로 移動하면 e_1 과 e_2 差가 생겨 出力은 그 차이로서 나타난다. core의 變位와 出力은 그림 8에서 보는 바와 같이 좋은 비례 直線성을 表示한다.

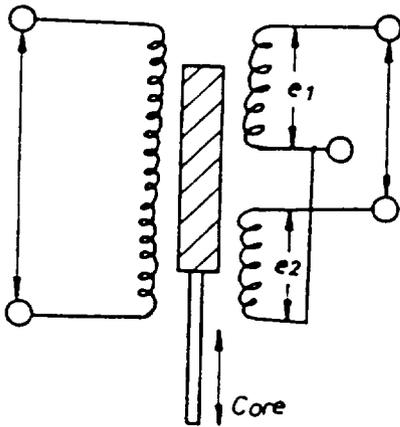


fig.7. Principle of LVDT.

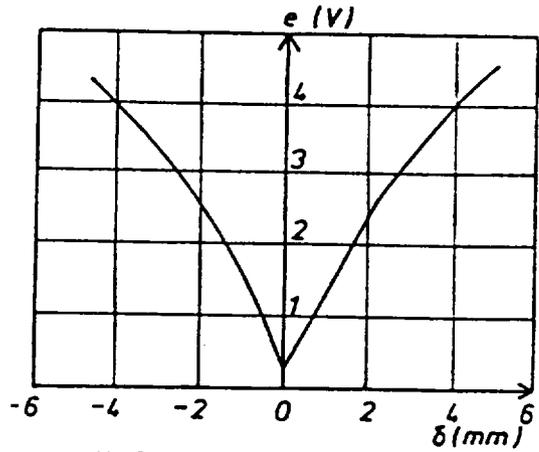


fig.8. Relation of core displacement and output voltage.

3. 實驗方法 및 裝置

3.1. 靜特性

fig.9에서 보는 바와 같이 높이 調節 knob로 傾斜를 주어 core의 變位量에 의한 LVDT (or strain gauge)의 出力을 增幅器에 의하여 增幅하여 自動記錄計 또는 다른 지시계기 (strain indicator)로 측정한다.

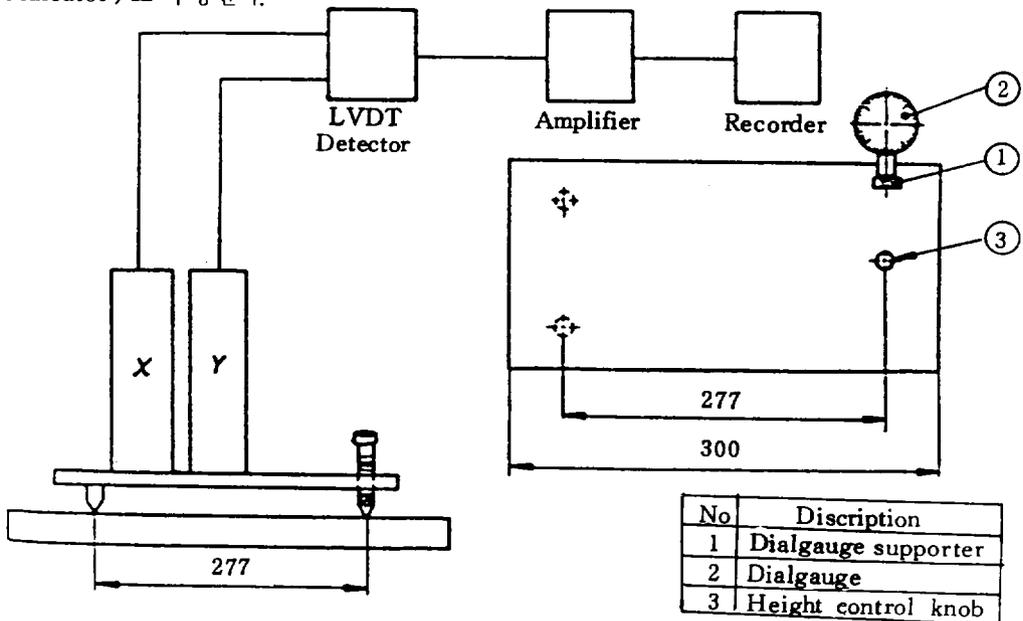


fig.9. Experimental apparatus for calibration.

3.2. 動特性

3.2.1. 連續的인 外部振動의 振幅變化에 따른 指示값의 變化

그림 10에서 보는 바와 같이 一定 周波數의 振動(7HZ)을 주면서 그 指示값의 變化를 檢討한다. 여기서 damping oil은 silicon oil(動粘度 600cst)을 使用하였다. (strain gauge type는 고속기어용 C-oil(SAE80)을 使用)

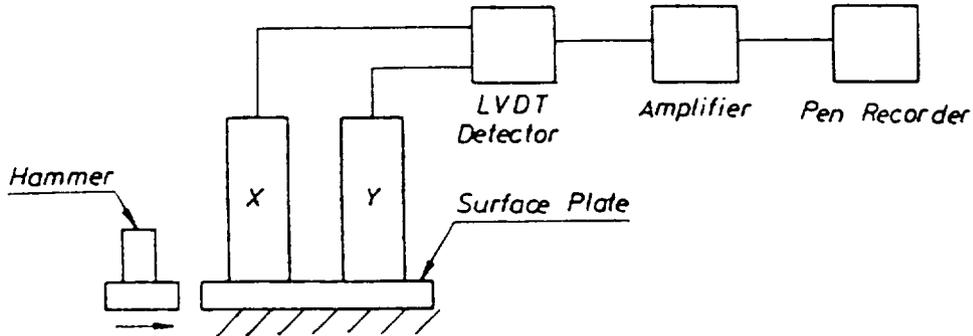


fig.10. Schematic diagram of experiment for indicating effect of external vibration.

3.2.2. 衝擊의 damping 效果

Hammer로 傾斜計에 衝擊을 加하고 動粘度 600cst의 silicon oil을 使用한 Damper에 의한 damping 效果를 測定한다.

photo.1은 실험장치를 나타내고 있다.

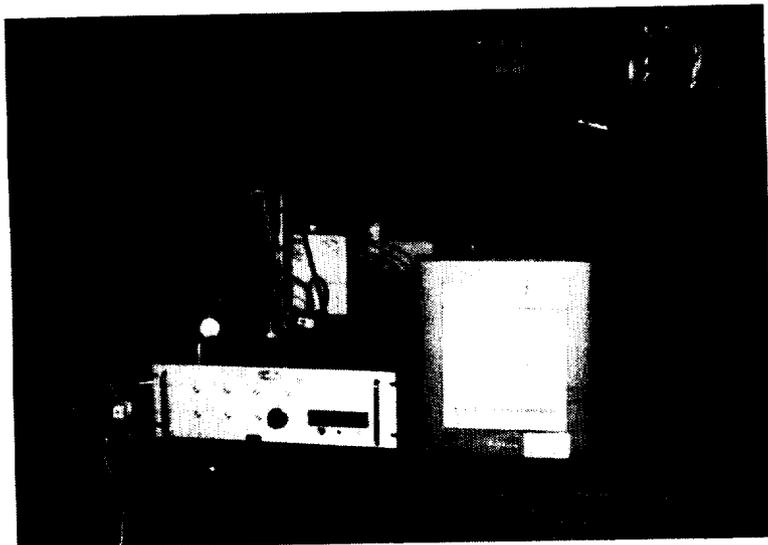


photo 1. Experimental apparatus.

4. 實驗結果 및 考察

本 實驗은 室溫下에서 行하여졌으며, 온도에 따른 영향을 고려하지 않았다. LVDT形 傾斜計는 3×10^{-5} rad (6.2") 마다의 실험을, strain gauge形 傾斜計는 0.1° 마다의 실험을 하였다.

4.1. 靜特性

4.1.1. 直線性

Strain gauge type 傾斜計의 角變位를 0.1°씩 증가시켜가며 측정한 결과와 理論式으로부터 계산한 결과는 다음과 같다.

Table 2. Data of theoretical and experimental value.

degree \ object	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
Theory	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	9.6	11.2	12.8	14.5	16.1	17.7	19.3	20.1	22.5
EXP.	2.0	3.5	5.5	7.0	8.5	10.1	11.1	13.5	15.2	17.0	19.0	20.0	21.9	23.3

fig.11 은 플로팅한 것을 나타낸다.

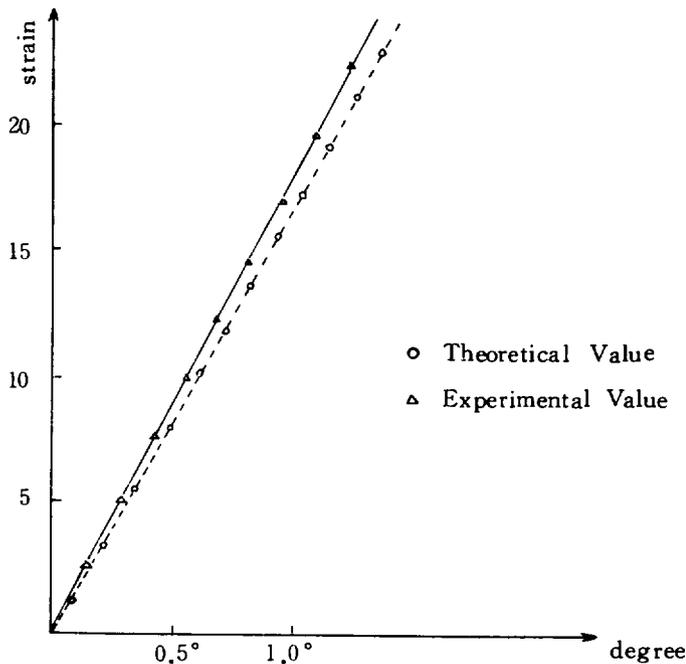


fig.11. Linearity of strain gauge type clinometer.

4.1.2. 感度

傾斜計에서 LVDT type 은 $\ell = 260 \text{ mm}$ 이므로 式(6)과 式(7)에서 感度 E 와 工業的인 感度 $\frac{1}{E}$ 은 각각 $1.26 \mu\text{m}/\text{sec}$, $0.76 \mu\text{m}/\text{sec}$ 가 되고, strain gauge type 는 $\ell = 275 \text{ mm}$ 이므로 $E = 1.33 \mu\text{m}/\text{sec}$, $\frac{1}{E} = 0.75 \mu\text{m}/\text{sec}$ 이다.

4.1.3. 指示誤差

Strain gauge type 傾斜計의 角度變位 $1.4^\circ (24.4 \times 10^{-3} \text{ rad})$ 를 full scale로 하였을 때 理論計算値와 實驗測定의 指示값을 full scale에 대한 誤差로 表示하면 다음과 같다.

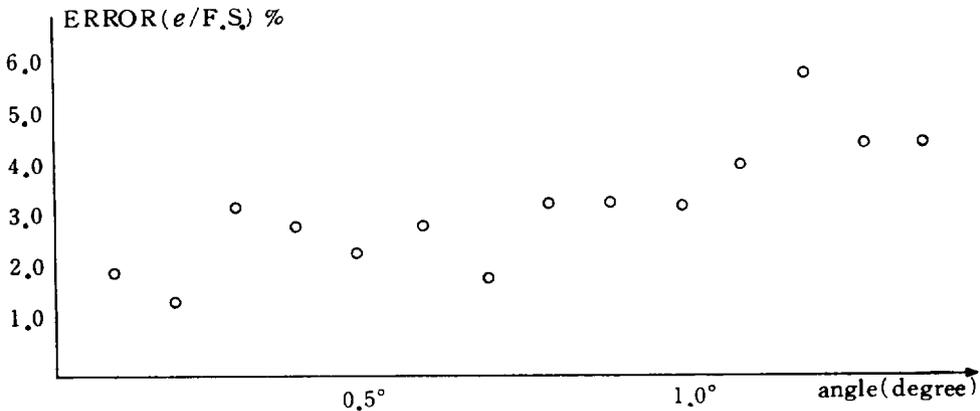


fig.12. Indicating error for strain gauge type clinometer.

이상에서 $3 \times 10^{-5} \text{ rad} \sim 50 \times 10^{-4} \text{ rad} (6.2'' \sim 17''11.3')$ 의 작은 角變位 測定時는 LVDT 形 傾斜計, $0.1^\circ \sim 1.4^\circ$ 의 큰 角變位 測定時는 strain gauge 形 傾斜計가 좋음을 알았다.

LVDT type 傾斜計의 角度變位 $17''11.3' (50 \times 10^{-4} \text{ rad})$ 를 full scale로 하였을 경우 理論計算値와 實驗測定의 指示값을 full scale에 대한 誤差로 表示하면 다음과 같다.

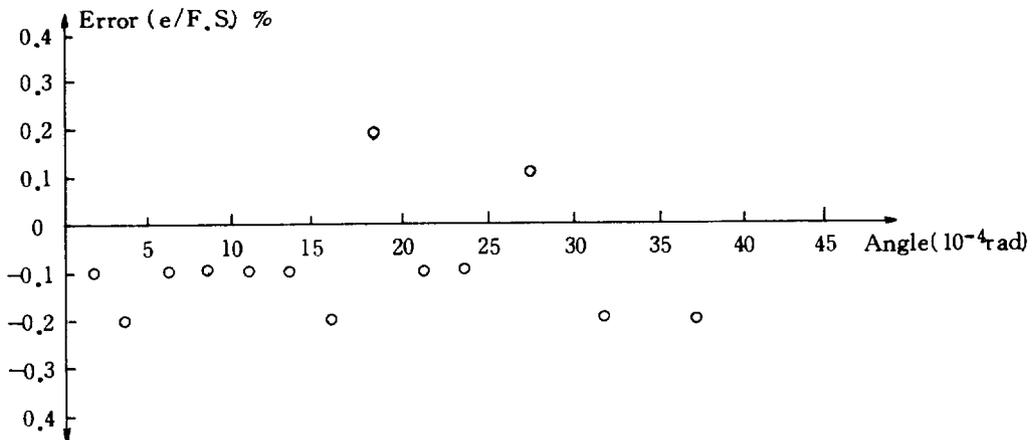


fig.13. Indicating error for clinometer X.

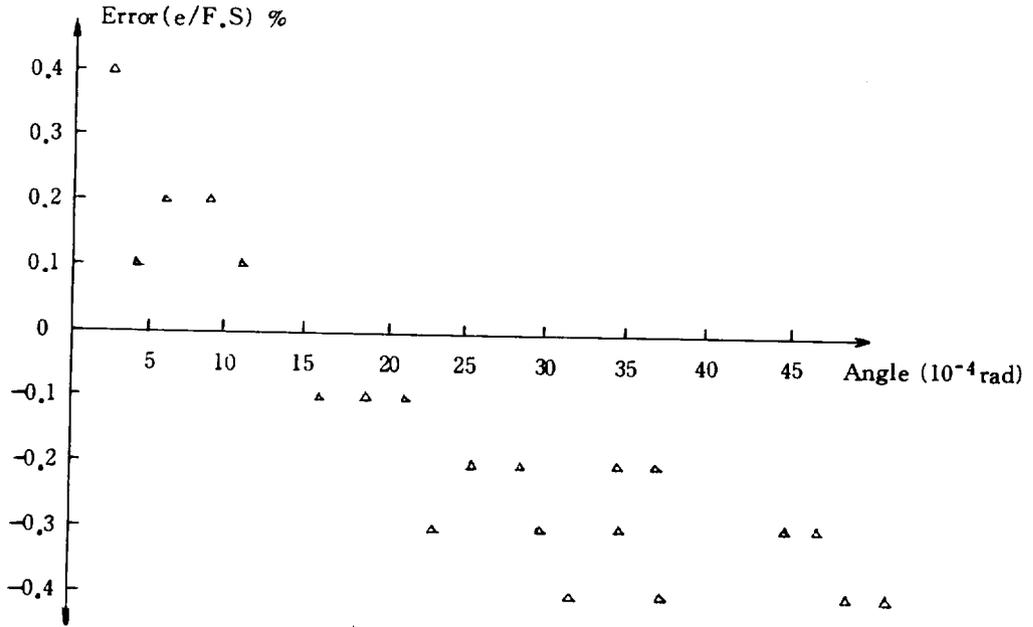


fig. 14. Indicating error for clinometer Y.

4.2. 動特性

Strain gauge type 傾斜計에 5° 의 角 impulse 를 加했을 때 應答特性은 다음과 같다. time constant 는 0.2 초였으며 正常狀態에까지 도달하는 데는 3.2 초가 걸렸다.

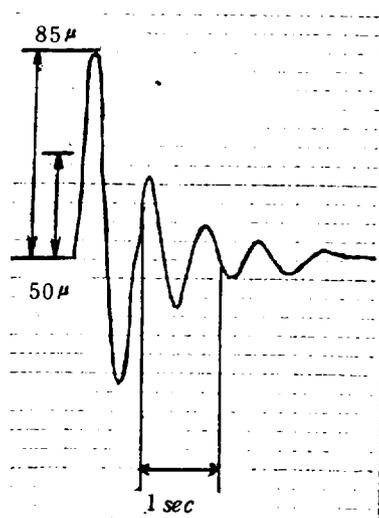


fig. 15. Time Constant and setting time of strain gauge type clinometer.

그리고 高速 Gear用 C-oil 을 damping oil 로 사용하였을 때 Damper 에 依한 damping 效果는 다음과 같다.

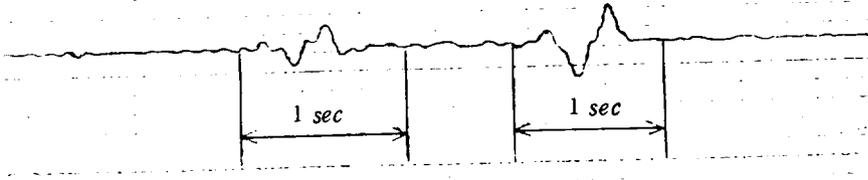


fig.16. Damping effect.

LVDT type 傾斜計에서 周波數 7Hz 의 振動振幅이 각각 0.8 g, 4 g, 10 g 일 때 實際測定時 指示값에 미치는 영향은 다음과 같다.

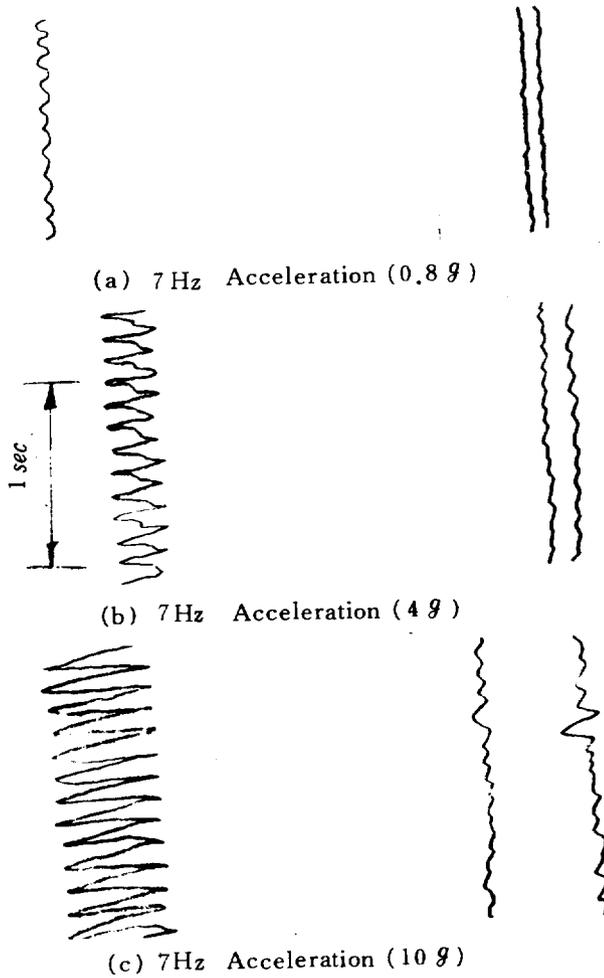


fig.17. Indicating effect of external vibration (LVDT type).

그리고 silicon oil (動粘度 600 cst)을 damping oil 로 사용한 Damper에 의한 damping 效果는 다음과 같다.



fig.18. Damping effect.

이상에서 Strain gauge 形 傾斜計는 추의 무게가 크면 진동의 영향을 심하게 받으므로 추의 무게를 줄이고 스프링 판의 두께를 얇게 하고, 게이지의 감도가 높아야 한다는 것을 알 수 있다.

5 . 結 論

(1) 傾斜角에 대한 傾斜計의 指示誤差는 LVDT 形의 경우 full scale $17''11.3''$ ($50 \times 10^{-4} rad$)에 대하여 0.4% 以内의 高精度이고, Strain gauge 形은 full scale $1.4''$ ($24.4 \times 10^{-3} rad$)에 대하여 5.6% 以内로 나타났다.

(2) LVDT 形의 Time Constant 는 0.4 초, Strain gauge 形의 Time Constant 는 0.2 초로 나타났다.

参 考 文 献

1. 計測工学 — 韓應教 著 —
2. 스트레인 게이지와 應用 — 韓應教 著 —
3. Notes on Linear Variable Differential Transformers—Technical Bulletin AA-1b, Schaevitz Engineering Co. Ltd., N.J. (1969).
4. 西口讓, 差動 トランス. その性能と 利用について (1974).
5. 西口讓, 機械量の電氣計測 制御, オーム社 (1962).
6. 大田 敏, 角度測定器, 日研工業新聞社

實 驗 裝 置

1. Dynamic Strain Amplifier, TOYO BALDWIN Co. Ltd., Model : MD-6E-F
2. Pen Recorder (flat type) TOA Electrics Co. Ltd., Model : FBR-252A.
3. Strain Indicator, SHINKOH Co. Ltd., Model : PSD-703.
4. Dialgauge PEACOCK Co. Ltd., Model : No. 107.
5. 정반

Summary

Strain Gauge type clinometer usually use the pendulum as the operating mechanism, but they differ each other in the shape of the pendulum, the detecting method of the angular displacement of the pendulum and damping method.

Strain Gauge type clinometer made experimentally was checked through the characteristic examinations.

As the results of this study, we come to know that error in meter reading was within 5.6 % F. S. and response time was about 0.2 sec.