

Convex Cam面의 摩擦係數 測定에 關한 研究

金 永 植

A Study on the Measurement of the Friction Coefficient
on the Working Surface of the Convex Cam

Young Sik Kim

目 次

- | | |
|----------------|--------------|
| I. 序 論 | IV. 測定結果와 考察 |
| II. 摩擦係數 測定原理 | V. 結 論 |
| III. 摩擦係數 測定裝置 | 參考支獻 |

Abstract

Several devices have been contrived for the purpose of measuring the friction coefficient on the solid surfaces. Such devices, however, are not adequate for the measurement of the friction coefficient on the working surface of a cam whose load changes continuously as the cam rotates.

In this paper, a new device is proposed which can be used for measuring the friction coefficient on the surface of a rotating cam with the load changing continuously, and an attempt is made to measure the friction coefficient between the convex cam and the flat tappet.

Results of the test are as follows:

1. In the convex cam-flat tappet system, the friction coefficient of the interface can be measured by inserting the octagonal strain ring, and it has been proved that its friction coefficient is about 0.095 even under sufficient lubricated conditions while the tip circle of cam is contacted with the tappet.
2. In the convex cam-flat tappet system, the actual shape of cam can be grasped by inserting the octagonal strain ring.

I. 序 論

Cam은 機關이나 機械의 重要한 한 部分이므로 그 磨耗는 그들의 性能에 미치는 영향이 至大하다. Cam과 Tappet間에는 一般的으로 境界摩擦이 發生하고 있으므로 그 摩擦係數가 크면 磨耗가 빨라지고 動力의 浪費가 많아진다. 그러므로 摩擦係數를 減少시켜 Cam面의 磨耗와 動力의 浪費를 減少시키기 爲해서는 Cam面의 各部分에서 어떤 摩擦이 發生되고 있는가를 알 必要가 있다.

摩擦係數는 Goddard⁽¹⁾, Simkins⁽²⁾, 宮川⁽³⁾, 加藤⁽⁴⁾ 등이 各自의 摩擦條件에 따라 裝置를 만들어 測定하였다. 이들의 裝置는 回轉角度에 따라 荷重이 連續적으로 變化하는 Cam作動面의 摩擦係數 測定에는 不適當하다.

筆者는 荷重이 Cam의 回轉角度에 따라 連續적으로 變하도록 裝置를 考案하였다. 그리고 Convex cam과 이에 從動하는 Flat tappet를 組合시켜서 摩擦面을 構成하고, 分力計(Strain ring)를 Tappet와 Stem間에 插入한 다음에 摩擦係數를 Cam의 回轉角에 對해서 求했다.

이 研究는 Convex cam과 Flat tappet接面間의 摩擦係數의 荷重依存성과 速度依存성을 밝혀서, 그 面의 磨耗경향과 磨耗가 機械性能에 미치는 영향등을 研究하는데에 도움이 될 것이다.

II. 摩擦係數 測定原理

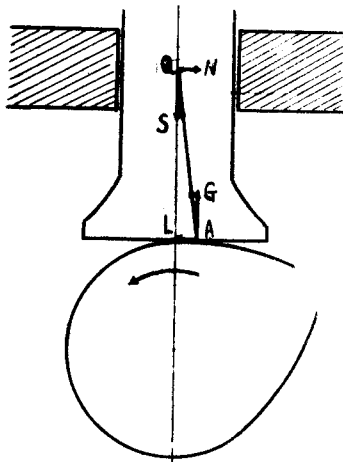


Fig 1(a) 作動狀態에 있어서 Convex cam面의 힘 分布

Cam이 一定한 速度로 回轉하고 있는 경우에 Convex cam-Flat tappet系에 있어서 힘의 平衡狀態를 考慮하면 Fig 1(a)와 같다.

여기서

\vec{QS} = Valve spring 壓縮力 + 慣性力 + 自重力

\vec{QN} = Tappet를 案内하고 있는 Bearing의 反力

\vec{AL} = Cam과 Tappet間의 水平分力

\vec{AG} = Cam과 Tappet間의 垂直分力

이들 힘의 平衡狀態에 있어서는

$$\vec{QS} = \vec{AG} \quad \vec{QN} = \vec{AL}$$

따라서 接面의 摩擦係數 μ 는

$$\mu = \frac{\text{水平分力}}{\text{垂直分力}} = \frac{\vec{AL}}{\vec{AG}}$$

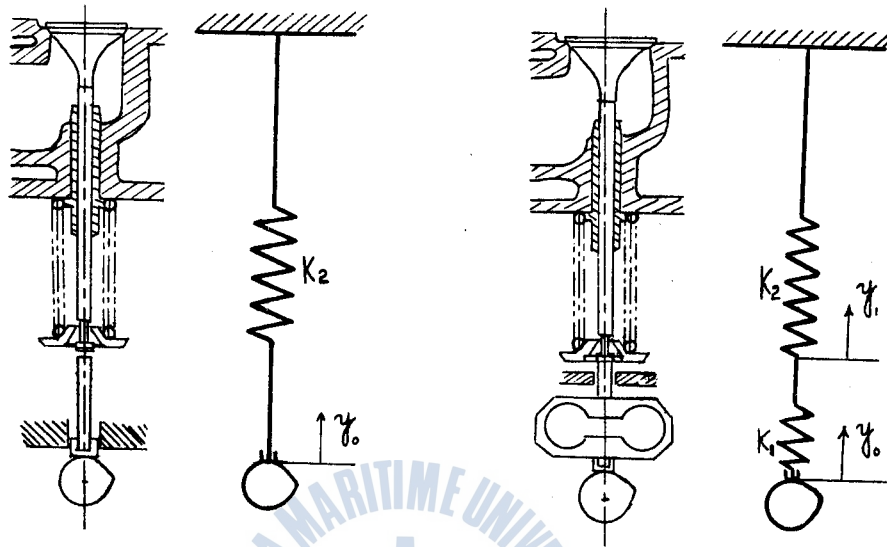


Fig 1(b)

Fig 1(c)

지금 Fig. 1(b)와 같은 L type valve gear 에서 Fig. 1(c)와 같이 Tappet 와 Valve stem 間에 分力計를 挿入한 系를 생각하면 分力計는 그 系에 作用하는 水平分力과 垂直分力에 依해 變形되고, 그 變形에 依해서 各 分力을 測定할 수 있다.

그러나 Fig. 1(b)系에 있어서 垂直分力 P_v 는

$$P_v = k_2 y_0 \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 1(c)系에 있어서 垂直分力 P_v' 는

$$P_v' = k_1 (y_0 - y_1) = k_0 y_1 \dots\dots\dots (2)$$

그러므로 Fig. 1(c)系를 Fig. 1(b)系로 還元하면

$$P_v = k_2 y_0 = k_2 \frac{k_1 + k_2}{k_1} y_1 = \frac{k_1 + k_2}{k_1} P_v' \dots\dots\dots (3)$$

여기서

- k_2 = Valve spring의 Spring 常數
- k_1 = 分力計의 Spring 常數
- y_0 = Cam의 회전에 依한 Tappet 壓上距離
- y_1 = 分力計를 挿入하였을 때의 Valve spring 壓上距離

即, Fig. 1(b)의 系 代身에 Fig. 1(c)의 系를 생각하면 Tappet 가 同一하게 壓上되여도 Spring 反力은 $\frac{k_1}{k_1 + k_2}$ 倍 만큼 작아진다. 그러므로 Fig. 1(c)의 系에서 垂直分力과 水平分力을 求하여 Spring 反力의 減少영향을 補正하여 Fig. 1(b)의 系로 還元하여야 한다.

Ⅲ. 摩擦係數 測定裝置

이것은 photo. 1과 같이 (1) Cam-Tappet 部, (2) 荷重附加部, (3) 分力計部 및 (4) 分力 (strain) 指示-記錄部の 4部로 構成되어 있다.

(1) Cam-Tappet 部

이 部分은 Convex cam과 Flat tappet를 組合시키고, Cam shaft는 旋盤에 固定하여 定速回轉 시킬 수 있도록 하였으며, 實際 Cam shaft bearing 位置에 Bearing을 設置하여 軸의 振動과 變形에 依한 影響을 除去하도록 考慮하였다.

또한 Cam과 Tappet間이 均一하게 充分히 潤滑되도록 Cam 下方에 潤滑油 받침판을 設置하여 Cam의 基圓部가 潤滑油에 닿도록 함으로써 Cam이 Oil collar로 作用하게 하였다.

實測에 使用한 Cam-Tappet의 各部諸元은 다음과 같다.

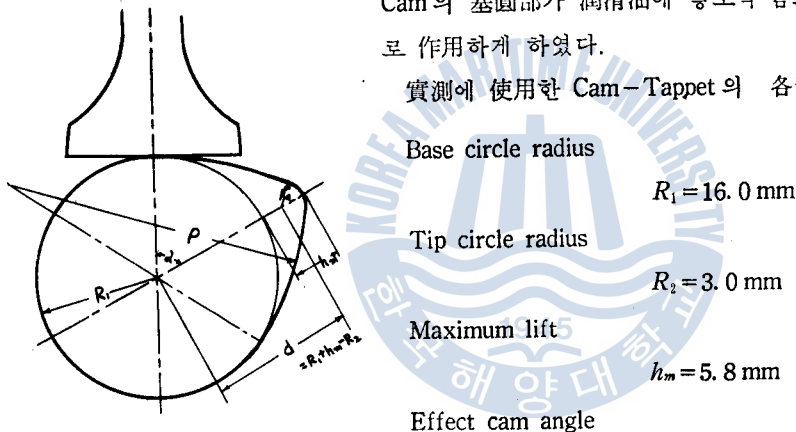


Fig 3 實測에 使用한 Convex cam
各部諸元

基圓과 頂圓의 共同接圓의 半徑(ρ)⁽⁵⁾는

$$\rho = \frac{(R_1^2 - R_2^2) + (R_1 + h_m - R_2)^2 - 2R_1(R_1 + h_m - R_2)\cos\alpha}{2[(R_1 - R_2) - (R_1 + h_m - R_2)\cos\alpha]}$$

$$= 34.25 \text{ mm}$$

Tappet diameter = 24 mm

또한 Cam, Tappet의 表面粗度 및 硬度는 다음과 같다.

Table I. Cam 및 Tappet의 表面粗度 및 硬度

Article	Shore hardness (H _s)	Surface roughness (H _{max})
Cam	63	Nose—2.6μ Side—1.7μ
Tappet	72.4	1.0μ

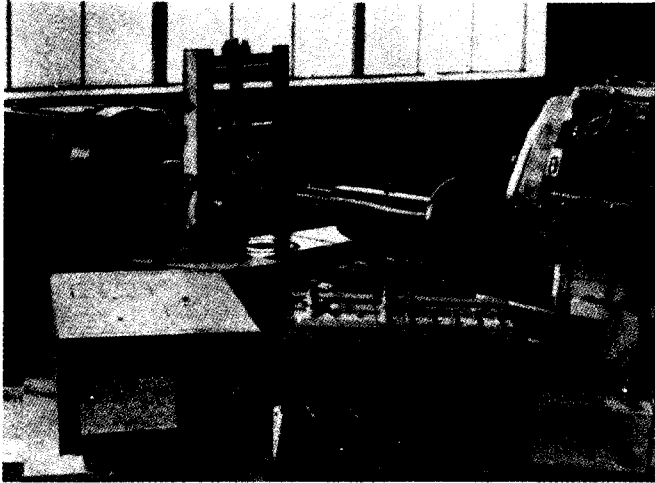


Photo. 1 General View

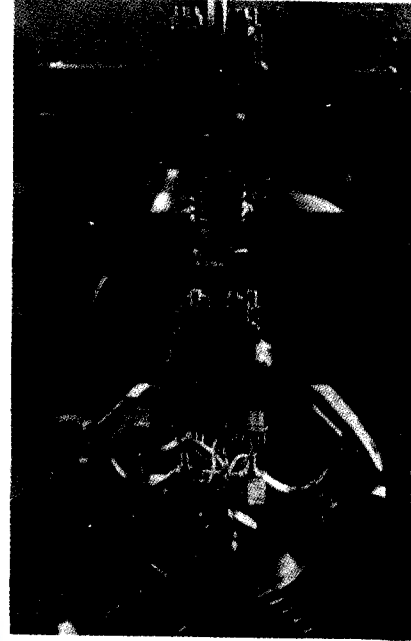


Photo. 2 Measuring Unit of Friction Coefficient



(a) Cam Nose $H_{max} = 2.6\mu$



(b) Cam Side 1.7μ



(c) Flat Tappet 1.0μ

Photo. 4 Surface Roughness

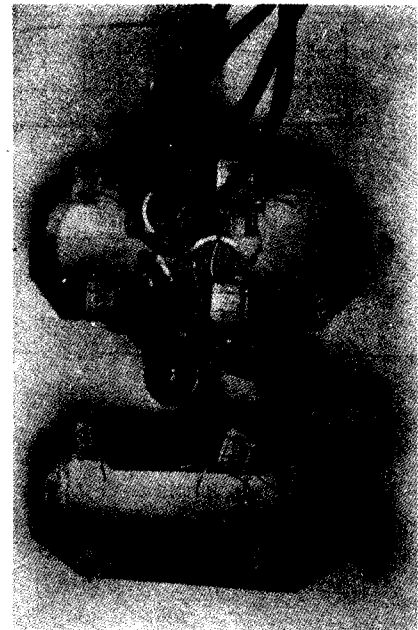


Photo. 3 Strain Rings and Tappets

(2) 荷重附加部

이것은 Photo. 2와 같이 Spring 荷重이 垂直하게 分力計에 비치도록 Stem 의 上下부에 各 4個의 Ball bearing 으로 案內를 만들고, 그 間에 Fig. 4의 特性을 가진 Spring 을 길이 57mm 되게 設置 調節하였다.

이 Spring 은 約 5 kg 以下の 荷重에서 Strain 과 直線性이 없으나, 40 kg 까지의 荷重에 對해서 Strain hysteresis⁽⁶⁾가 없으며, 使用限度內에서 4.35 kg/mm 의 剛性을 갖는다.

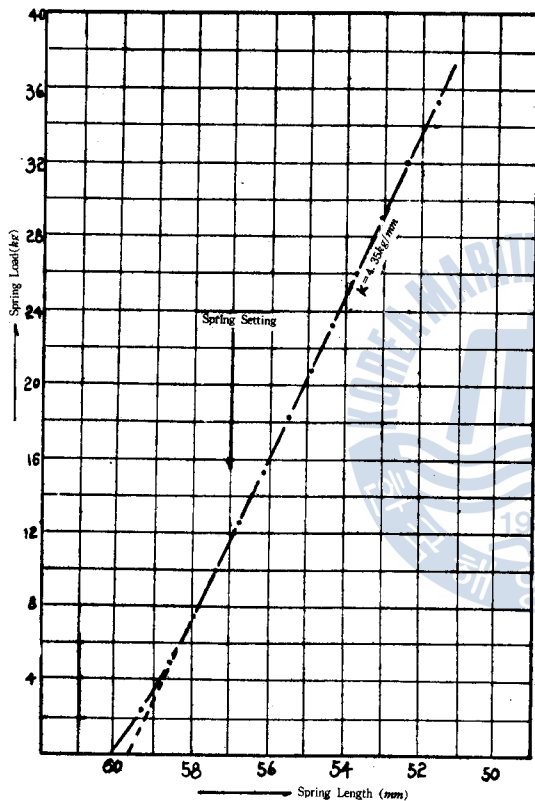


Fig. 4 Valve spring 特性

있다.

그리고 이 分力計에는 同圖에 表示된 ㉠㉡……㉣의 應力集中部에 Strain gauge 를 附着시키고, 이것을 Fig. 5(b), (c)와 같이 Wheatstone bridge 로 配線하여 P_V 와 P_H 를 分離해서 測定할 수 있도록 Strain amplifier 와 Strain recorder 에 連結하였다.

(1) 分力計의 相互干涉과 補正法

分力計는 純粹한 垂直荷重에 對해서 水平分力이, 純粹한 水平荷重에 對해서 垂直分力이 干涉하지 않는 것이 좋다. 그러나 分力計는 그 構造의 Strain gauge 附着位置 때문에 若干의 干涉은 不可避하므로 그 干涉量을 補正해 줄 必要가 있다.

(3) 分力計部

彈性理論에 依하면 얇은 Ring 위에 垂直力과 水平力이 同時에 作用할 때에 垂直軸에 對하여 39.6°인 斷面에 있어서는 垂直力에 依한 變形이 零이 되고, 水平力에 依해서만 變形하며, 90°인 斷面에 있어서는 水平力에 依한 變形이 零이 되고, 垂直力에 依해서만 變形한다⁽⁷⁾. 따라서 39.6°와 90°인 斷面の 變形을 測定함으로써 垂直力과 水平力を 分離해서 測定할 수 있다.

本 實驗에서는 Ring 의 剛性을 높이고 固定條件을 考慮하여 垂直軸에 對하여 30°인 斷面과 90°인 斷面に 應力을 集中시킬 수 있도록 Fig 5(a)에 表示된 바와같이 두께 8.0mm 의 壓延 Aluminium 板을 切削加工하여 應力集中部の 幅이 7.0mm 가 되고 外角이 60°인 8각형 分力計를 만들

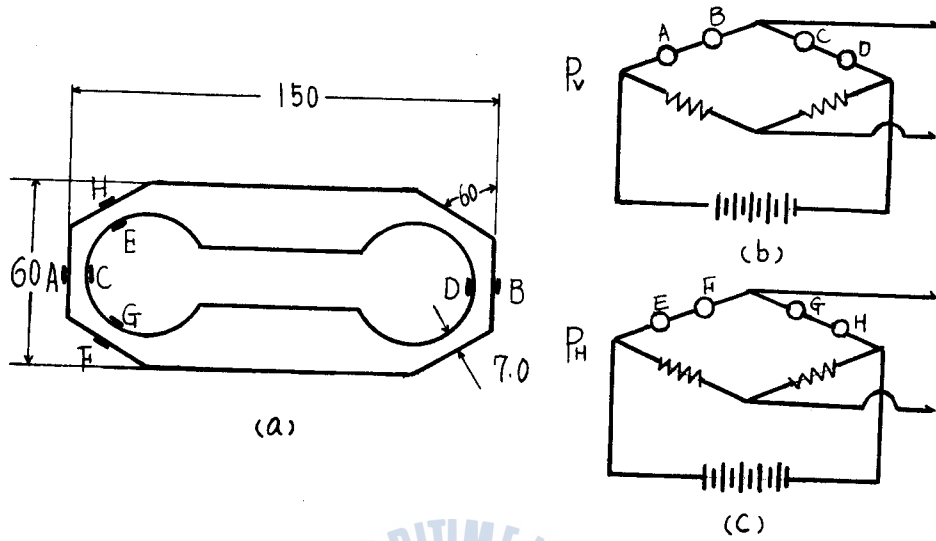


Fig. 5 分力計의 外觀 및 Strain gauge 結線圖

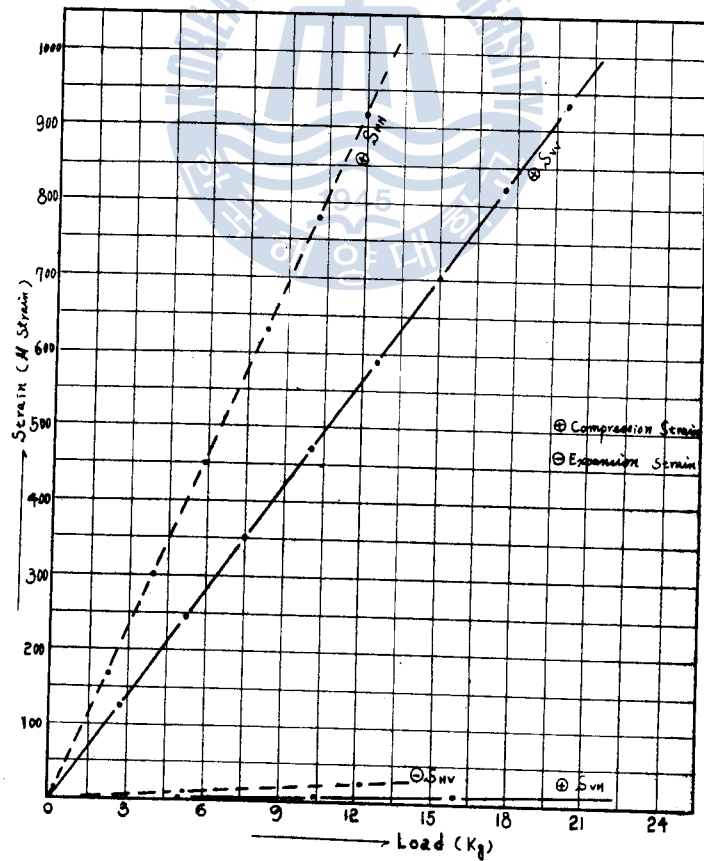


Fig. 6 分力計의 特性

分力計에 純粹한 垂直荷重을 加했을 때 垂直分力을 나타내는 計器上에 나타난 값을 S_{VV} , 水平分力을 나타내는 計器上에 나타나는 干涉量을 S_{VH} 라 하고, 또한 純粹한 水平荷重을 加했을 때 水平分力을 나타내는 計器上에 나타난 값을 S_{HH} , 垂直分力을 나타내는 計器上의 干涉量을 S_{HV} 라 한다. 지금 合成荷重을 加했을 때에 垂直分力을 나타내는 計器 및 水平分力을 나타내는 計器上의 값을 각각 S_V , S_H 라 하면 다음의 關係가 成立한다.

$$\begin{aligned} S_{VV} &= aP_V & S_{HH} &= cP_H \\ S_{VH} &= bP_V & S_{HV} &= dP_H \\ S_V &= S_{VV} + S_{HV} = aP_V + bP_H \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

$$S_H = S_{VH} + S_{HH} = bP_V + cP_H \dots\dots\dots(5)$$

여기서 P_V : 純垂直荷重

P_H : 純水平荷重

a, b, c, d : 例數常數

그러므로

$$P_V = \frac{dS_H - cS_V}{db - ac} \dots\dots\dots(6)$$

$$P_H = \frac{bS_V - aS_H}{db - ac} \dots\dots\dots(7)$$

이 式을 利用해서 任意의 合成荷重이 分力計에 加하여 졌을 때에 純垂直荷重과 純水平荷重을 求할 수 있다.

Fig. 6은 本實驗에 使用한 分力計에 純粹한 垂直荷重 혹은 純粹한 水平荷重을 加했을 때에 計器上에 나타난 S_{VV} , S_{HH} , S_{VH} , S_{HV} 를 表示한 것이다.

(2) 分力計의 剛性

分力計의 剛性條件은 그의 固有振動數를 支配한다. M. C Shaw 에 依하면 測定値가 勵振振動에 影響을 받지 않으려면 測定器의 固有振動數가 勵振振動數의 約 4倍 以上 커야 한다고 한다.⁽⁸⁾ 따라서 本測定에 있어서 是 分力計와 Valve spring 系 全體의 固有振動數 및 分力計의 固有振動數가 各各 勵振振動數의 約 4倍 以上 커야 한다.

Fig. 1 (c)의 系는 $k_1 \gg k_2$ 이므로 單純化하면 Fig. 7과 같어 되고, 이 系의 固有振動數 w_s 는 다음式으로 求할 수 있다.

$$w_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{gk_2}{w_t}}$$

여기서

w_t : Valve spring, Tappet, Tappet stem 및 分力計의 全重量

k_2 : Valve spring 의 Spring 常數

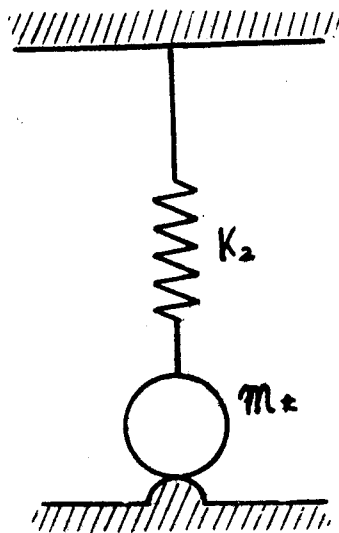


Fig. 7

k_s , w_s 는各各 4.35 kg/mm, 0.41 kg 이므로 $w_s \approx 51.35$ cps 이다. 分力計의 固有振動數 w_n 은 Spring 常數 58.7kg/mm, 重量 0.08kg 이므로 $w_n \approx 429.8$ cps 로 된다. 그리고 Cam 의 勵振振動數 w_0 는 0.56 cps ($33\frac{1}{3}$ r. p. m) 이므로 分力計—Valve spring系 全體의 固有振動數 및 分力計의 固有振動數는 各各 $w_s > 4w_0$, $w_n > 4w_0$ 의 制限值를 유지하고 있다. 그러므로 이 分力計에 依한 測定值는 勵振振動의 影響을 받지 않는다.

(4) 分力의 指示—記錄部

Cam 이 回轉하여 Tappet 가 上下로 運動하면 Spring 이 壓縮 혹은 伸張하므로 Cam 의 回轉角度에 따라 Cam-Tappet 의 接點의 荷重이 變化한다. 그러므로 이 接點의 垂直分力과 水平分力이 分力計를 變形하고, 그 變形이 分力計上의 Strain gauge 에 傳達된다. Strain gauge 에 그 應力에 比例하는 Strain 이 생기면 이 Strain 에 比例해서 Strain gauge 의 電氣抵抗이 變하므로 電壓變化에 따라 Strain meter 가 움직이고, Strain recorder 에 記錄이 된다.

Table 2는 測定에 使用된 計器의 明細이다.

Table 2. Meter, Tester, and Gage

Article	Specifications	Maker
Strain gage	KFC-5C-23 Temp. comp. for Al thermal exp. 23 ppm/°C Gage Length—5.0mm Resistance—120.0±0.3Ω gage factor (F)—2.13±1.5%	Kyowa Electric Instrument Co.
Power unit	DPE-10H(70~110V)	"
Strain amplifier	PCA-50ET	"
Strain meter	Co-50ET	"
Strain recorder	Repicorder, R. M. V-33	"
Hardness tester	Torsee Shore Hardness Tester, Type SH, No. D	Tokyo Testing Machine Co.
Roughness tester	Okosi Surface Roughness tester Model F-2(0.2S~25S)	Shimadzu Seisakusho Co.
Length measurer	Vernier Calipers(1/20mm, 0~20 cm) Micrometer(0~2.5mm, 0.01mm)	Mitutoyo, co. Toyo Seiki, Co.

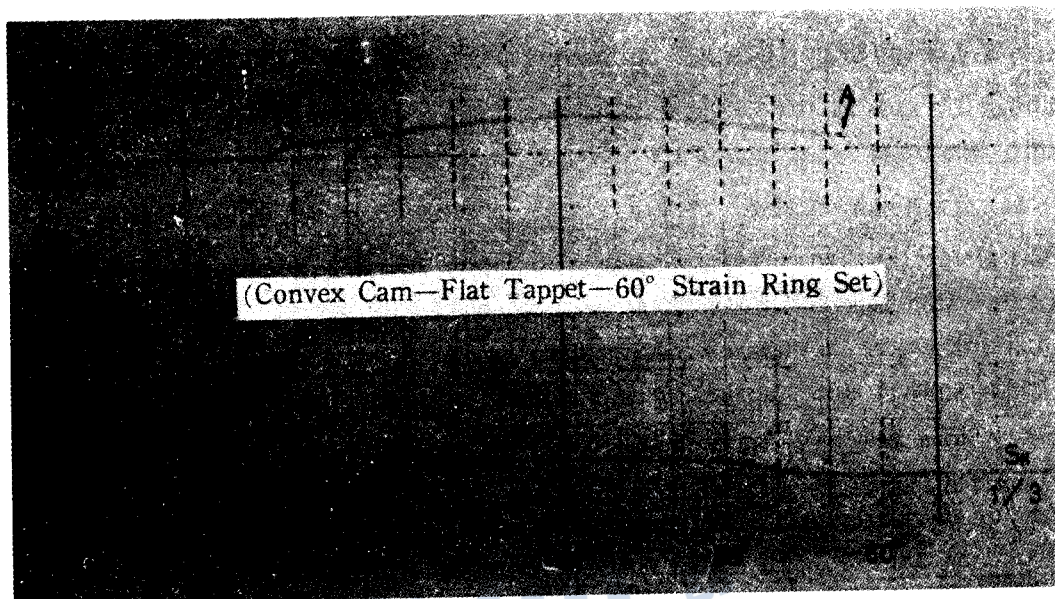


Photo. 5 S_v & S_H Curves vs Cam Angle (Clearance : $0.15mm$, rpm : $33 \cdot \frac{1}{3}$)

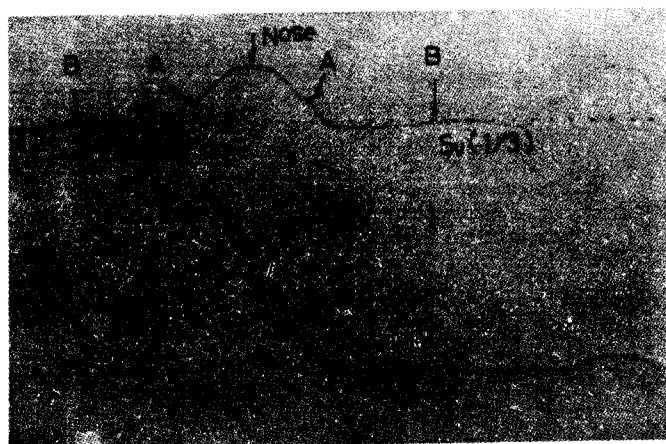
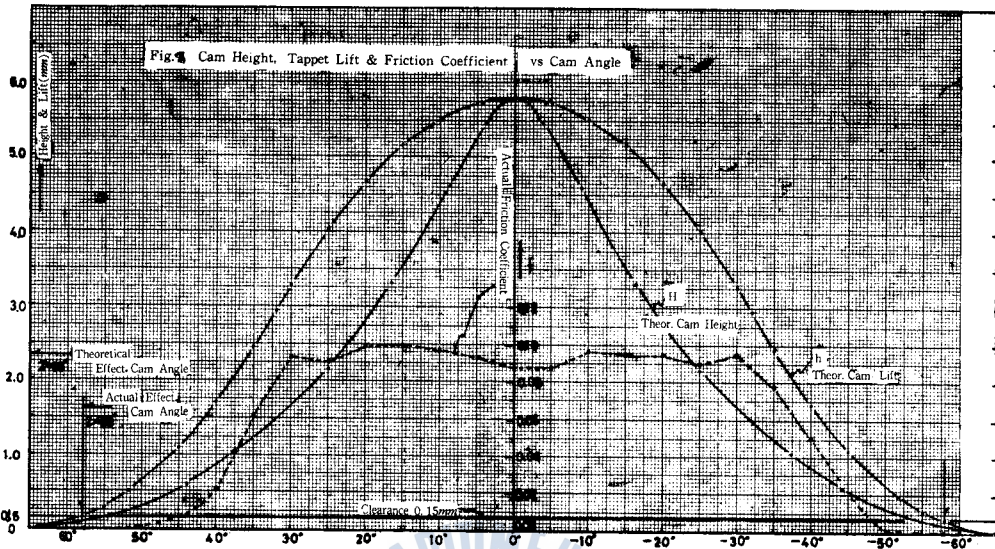


Photo 6 Negative Clearance



IV. 測定結果와 考察

Photo. 5는 Convex cam, Flat tappet 및 分力計의 組合에 Cam-Tappet clearance 를 0.15mm (Cam nose 反對側에서)로 하여 Cam shaft 를 $33\frac{1}{3}$ r. p. m 으로 回轉하였을 때의 各 Cam 回轉角度에 對한 摩擦面의 垂直分力과 水平分力에 依한 Strain 을 記錄한 것이다. 이 Card 上의 Strain 은 垂直方向의 것에 Att. (縮尺) = $\frac{1}{10}$ 水平方向의 것에 Att. = $\frac{1}{3}$ 로 되어 있으며, Photo. 5~6의 縱線들의 間隔은 回轉時間으로 $\frac{1}{10}$ 秒, 回轉角度로 20° 를 表示한다.

Fig. 8의 h 와 H 는 基圓半徑 (R_1) = 16. mm, 頂圓半徑 (R_2) = 3.0 mm, 理論的 最高 Tappet 揚程 (h_m) = 5.8mm 및 理論的 Cam 有効角(α) = 65° 로 할 때의 Tappet 揚程과 Cam 높이를 計算해서 表示한 것이다. 이 測定에는 Tappet 와 Cam 의 間隔이 0.15mm 이므로 Tappet 의 實 最高揚程과 Cam 의 實 作用最高높이가 5.65 mm 로 되고, Cam 의 實 有効角度는 65° 에서 58° 로 減少된다. 이 實 Cam 有効角度 58° 는 Photo. 5의 有効角度와 잘 一致한다.

Fig. 8의 f 는 Photo. 5의 測定の 摩擦係數이다. 即, Photo. 5上의 S_v 와 S_H 를 各各 Micrometer 로 測定(擴大한 것을 利用)하여 同一尺度로 換算하고, 干涉量을 補正해서 摩擦係數를 求한 것이다. 이에 依하면 SAE 20W/40의 潤滑油로 充分히 潤滑했는데도 不拘하고 Cam 이 Tappet 와 接하고 있는 동안은 境界摩擦이 거의 계속되고, Cam 의 回轉角이 約 32° 되는 節圍內에서는 摩擦係數가 0.095 內外의 高 摩擦이 發生되고 있다. Cam 回轉角 $37^\circ 57'$ 되는 Cam 面의 點은 側圓과 頂圓의 交點이고, 이 點에서 Tappet 의 上下運動의 加速度가 正에서 負로 바뀐다. 그러므로 摩擦係數가 0.095 內外로 되는 高 摩擦은 Tappet 가 頂圓과 接하고 있는 동안에 發生되고 있다는 것을 알 수 있다.

以上 說明한 摩擦係數는 Fig. 1(c)系의 것이므로 Fig 1(b)系보다 Spring反力을 $\frac{k_1}{k_1+k_2}$ 轉倍만큼 적게 받고 있다. 그러므로 Fig 1(c)의 系에서 Fig 1(b)의 系로 摩擦係數를 換算하여야 한다. 그러나 $\frac{k_1}{k_1+k_2}$ 의 값은 本實驗에서 0.93이므로 Fig. 8의 摩擦係數는 거의 眞實한 것이라고 볼수 있다.

Photo. 6은 Convex cam 과 Flat tappet 에 分力計를 組合하고, Cam nose 의 反對側 B 點에서 Cam-Tappet clearance 를 負로(豫壓을 加함)하고, 그때의 Strain 을 零으로 調節하여 Cam shaft 를 $33\frac{1}{3}$ r. p. m 으로 回轉시킬 때의 垂直分力과 水平分力에 依한 Strain 을 記錄한 것이다. 同 寫眞에서 垂直分力에 依한 Strain(S_v) 曲線은 基圓部와 側圓部에서 平滑하지 않다. 그러므로 이 寫眞은 Tappet 가 Cam 에 닿는 節圍內에서, 基圓部와 側圓部가 正確히 工作되지 못하였음을 보여 주고 있다.

V. 結 論

以上の 研究에서 다음과 같이 結論을 내릴 수 있다.

1. Convex cam-Flat tappet 系에 8각형 分力計를 插入하므로써 그 接面의 摩擦係數를 側定할 수 있다. 이 摩擦係數는 充分히 潤滑해도 Tappet 가 Tip circle 과 接하고 있는 동안에 0.095 程度로 된다.
2. Flat tappet 와 分力計의 組合은 Convex cam 의 實 輪廓을 把握하는데 利用할 수 있다.

끝으로 本 研究를 끝까지 指導하여 주신 田大熙 教授님께 깊이 感謝드리며 本 研究에 도움을 주신 여러 教授님들께 깊은 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

- 1) J. Goddard & B. H. Stone, J. Sci. Instrm., Vol. 43, P. 160(1966).
- 2) Thomas E. Simkins, Lub. Eng., Vol. 23, No. 1, p. 26(1967).
- 3) 宮川行雄, 日本機械學會論文集 第3集, 29卷, 199號, 東京, p. 563(1963).
- 4) 加藤, 山口, 佐藤, 松林, 日本機械學會誌 76卷, 641號, 東京.
- 5) 大道寺達, デイゼル機關設計法(工學圖書), 東京, p. 180(1964).
- 6) 津田, 酒井, 永內, 第13回 日本船用機關學會, 學術講演集, 東京, p. 25(1972).
- 7) Milton. C. Shaw 原著, 廉永夏 옮김, “工作機械의 切削理論” 東明社, 서울, p. 73(1962).
- 8) 廉永夏, 工作機械의 切削理論, 東明社, 서울, p. 90(1972).