

## 異種金屬間摩擦時 溫度變化特性에 관한 研究

辛 政 教 · 李 友 桓

Characteristics of Temperature Change in Friction between Different Metals

By M.K. Shin, W.H. Reigh

## Abstract

At present it has been cleared that even carefully polished surfaces have irregularities on them which are large compared with molecular dimensions by the progress of a scanning electron microscope.

When two solids are placed together, the real area of contact is very small, so that the local pressure is high and, in general, exceeds the yield pressure of the metal.

Plastic flow of the solid occurs at the summits of the irregularities so that the real area of contact is proportional to the applied load. There is adhesion at local regions of contact and the friction is, in a large measure, the force required to shear them.

On this view point, the friction experiment with different specimens which are carbon steel, copper and constantan was attempted to know the characteristics of temperature change in contact with different metals.

Various experiments are summerized as follows;

- 1) With metals of high melting point, momentary temperature  $1000^{\circ}\text{C}$  may last below  $10^{-4}$  of a second. It is thought that above phenomena back up previous adhesion theory in wear.
- 2) As a general rule, surface temperature in contact with different metals becomes high when the load increases while it is observed that surface temperature decreases when the load increases with conical shapes of specimens

## 序 論

우리나라의 베어링 製造 現況은 그동안 계속 推進 되어 온 産業近代化 政策으로 많은 機械들이 導入되면서 베어링 部分도 함께 輸入 됨으로써 自體 設計에 의한 製作은 거의 없고 있는 形

便이다. 그 뿐만 아니라 大部分의 베어링 製造 業體들은 그 圖面을 外國에서 가져와 製作하고 있는 實情이며 摩擦, 磨滅, 磨滅量, 摩擦時의 溫度 및 기타 여러가지 因子들에 대한 研究들도 우리나라에서는 아직 많지 않다. 따라서 國內에서 研究開發한 베어링 設計情報는 거의 없는 狀

態이므로 이에 대한 情報가 時急히 要求되고 있다.

摩擦, 磨滅現象은 여러가지 要因이 얽혀있는 複雜한 現象으로서 지금까지도 그 本質이 充分히 解明되지 않고 있다. 그리하여 磨滅에 의한 材料의 壽命을 定量的으로 推定하고, 機械의 設計資料로 삼기에는 곤란한 點들이 많다. 그 最大 原因中의 하나가 相似法則이 成立되지 않는 것을 들 수 있다.

摩擦의 本質에 대하여 Coulomb以後 많은 說이 對立해 왔다. 하나는 摩擦은 接觸面의 凹凸에 依하여 생기며 그 크기에 荷重을 凹凸의 山頂點까지 끌어올리는데 필요한 量으로 定해진다는 說이며, 또 分子說을 根據로 하여 荷重때문에 兩面이 分子間隔程度로 接近하면 凝着部分이 생기고, 그 凝着部를 剪斷하기 위한 힘이 摩擦 抵抗이 된다<sup>1)-5)</sup>는 것이다.

처음에는 앞의 說이 힘을 얻어 摩擦現象을 說明해 오다가 最近에 와서는 Tabor,<sup>6)</sup> Holm<sup>7)</sup> 등의 研究에 依하여 뒤의 說이 主流를 이루게 되었다. 그 後 凝着說이 主流를 이루면서 앞의 凹凸說도 그안에 包含하게 되었다.<sup>8)-12)</sup> 接觸面의 摩擦은 두 面間의 點 接觸點에 있어서 材料의 凝着에 基因하지만 그때 發生하는 摩擦熱과 그 接觸面의 溫度의 影響을 많이 받는다.<sup>13)</sup> 摩擦面 溫度에 대한 研究는 Bowden<sup>14)</sup>과 Jaeger<sup>15)</sup>의 理論이 있는데 Bowden은 接觸模型을 円筒으로 보았고, 또 Jaeger는 正方形으로 보고 各己 定常 流로 假定을 해서 式을 誘導 함으로써 두 사람의 假定은 根本的으로 전혀 相異한 觀點에서 出發한 것이었다.

그러나 最近 電子顯微鏡의 發達로 研磨한 鋼의 表面 凹凸의 모양이 圓錐型이란 것이 밝혀졌다.<sup>16)</sup>

그래서 異種金屬의 接觸突起中의 하나를 圓錐로 보고 摩擦時 發生하는 熱量配分狀態를 解析的으로 說明하려고 하였으나, 그 解析的인 解가 複雜한 級數解이기 때문에 數值를 이끌어 내기가 대단히 어려웠다.

또한 機械構造物內에는, 回轉運動, 往復 미끄럼運動 때문에 磨滅은 반드시 일어나는 現象이며, 이 磨滅 때문에 우리들은 每年 莫大한 經濟

的 損失을 입고 있다. 實際로는 經濟的 損失에 그치지 않고 資源과 에너지의 直接的인 損失이다.

한편 磨滅을 豫測하고, 制御할 수 없기 때문에 機械들의 信賴性的 向上이 阻害되고 있다.

이러한 要請에 副應하기 위한 것으로 筆者는 于先 두 金屬이 接觸時 磨滅狀態를 實驗的으로 考察하여 8種의 異種金屬 材料에 대하여 荷重과 摩擦速力을 여러가지로 變化시키면서 磨滅量을 測定하였다.<sup>17)</sup> 本研究는 다시 異種金屬間의 摩擦時에 일어나는 溫度變化特性을 알기 위하여 熱起電力을 이용하여 回轉數와 荷重을 變化시킬 때의 溫度分布狀態를 實驗하고 定速狀態에서 荷重을 變化시키면서 熱起電力의 變化<sup>18)</sup>를 통한 溫度의 變化와 摩擦力의 變化狀態를 알아보고자 한다.

### 實驗裝置, 實驗方法 및 試料

摩擦될 때 發生하는 두 物體間의 溫度는 接觸表面에 생기는 熱起電力을 測定하여 그 때의 溫度를 알아 낼 수 있다.

寫眞 1과 Fig. 1은 實驗裝置의 主要部分으로서 回轉圓盤 위에 試驗片(Fig. 2)을 끼우고, 그 위에 다른 試驗片을 얹고 電動機와 슬라이닥으로

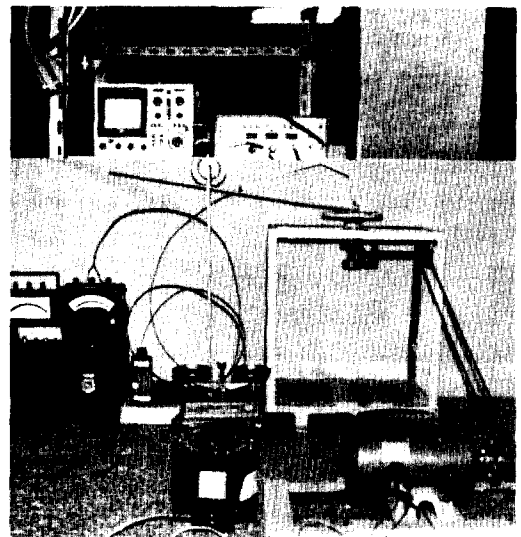


Photo. 1. Apparatus for measure thermal electromotive force.

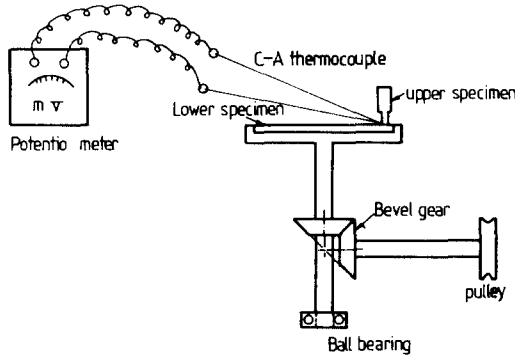


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

여러가지 速度로 驅動한다.

이때 異種 金屬間의 擦摩熱 때문에 생기는 熱起電力을 電位差計로 測定한다.

熱電對는 크로멜-아루멜이며 試驗片의 尖端 가까이에 固定시켰으며 電動機 回轉數는 200~1200rpm, 荷重은 200~2000g까지로 하였다.

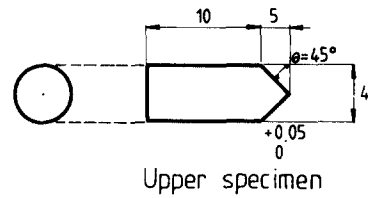
試驗片들은 炭素鋼(S45C), 銅, 그리고 콘스탄탄으로 하였다. 各種 試驗片들의 化學成分은 Table 1과 같고 치수는 Fig. 2와 같다.

炭素鋼, 銅 그리고 콘스탄탄을 Table 2와 같이 熱處理 하고 試驗할 때의 摩擦面은 研磨紙 1200번을 거친 후 라사研磨를 해서 摩擦面의 狀態를 똑 같도록 하기 위하여 努力하였다.

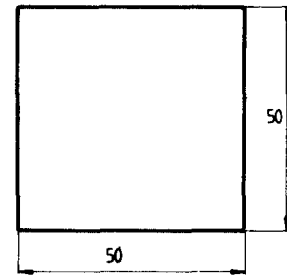
實驗에 使用한 기름은 Table 3의 스피들油를 사용했다. 또 前述한 裝置에다 오실로스코프를 連絡하여 순간적인 溫度의 變化를 觀察하였다. 接觸點은 摩擦中에 끊임없이 變動하는 것에 對應해서 溫度도 또한 1秒間에 數百回의 불꽃과 같이 變動할 것이 豫想되기 때문이다. 처음에 同種의 金屬으로 上下部 試驗片들을 만들어 摩擦에 依하여 熱起電力이 일어나지 않는 것을 確

Table. 1. The chemical compositions of specimens.

Specimens	Compositions(%)
S45C	Fe 98.577, C 0.45, Si 0.20, Mn 0.75, P 0.008, S 0.015
Cu	Cu 99.99
onstantan	Cu55 Ni45



Upper specimen



Lower specimen

Unit mm

Fig. 2. Specimen size.

Table 2. Annealing condition for specimen.

Material	Annealing Temperature (°C)	Time(hr)
S45C	650	2
Cu	260	0.5
Constantan	340	1.0
Al	180	1.5

Table. 3. Specification of spindle oil#7.

Specific gravity 15°C	0.8680	
Color	L1.0	
Flash point °C	144.0	
Viscosity	C st 40°C	6.69
	100°C	2.03
Viscosity index	91	
Pour point °C	-7.5	

認후에 實驗에 着手했다.

下部試驗片의 같은 자리를 번갈아 가며 摩擦 시켜서는 上部試驗片의 磨滅에 依하는 작은 粉末이 下部試驗片에 들어 붙어 電位差가 차차 下

降하여 零이 되기 때문에 여러번 되풀이 한 후에 脫脂面으로 스핀들油를 가볍게 浸透시켜, 摩擦面을 닦아냄으로서 成功했다.

이렇게 해도 磨滅분말의 影響이 상당히 있을 것으로 豫想이 되어 接觸部分을 下部試驗片의 中心쪽으로 서서히 移動시켜 끊임없이 새로운 接觸面과 摩擦을 일으키도록 하였고 한번 摩擦할때 마다 下部試驗片 全面을 새로히 前述한 方法으로 랭핑해서 實驗을 했다.

熱起電力과 時間과의 關係를 알아보기 위하여 콘스탄탄과 炭素鋼을 使用해서 定荷重, 定速度로 해 놓고 測定을 했다. 그리고 銅과 炭素鋼에 대해서도 定速度로 해놓고 熱起電力과 荷重과의 變化特性을 알아 보았다.

그때 그때의 摩擦力을 스프링 저울을 使用해서 測定하고 境界潤滑 狀態의 特性도 考察하였다.

境界摩擦時의 溫度變化에 대해서는 熱起電力만으로 說明할 수 없는 것이 있기 때문에 이를 糾明하기 위하여 速度를 一定으로 해놓고 荷重增加에 따른 熱起電力과 摩擦力을 測定했다.

嚴密한 뜻으로 固體의 순수한 表面이란 大氣中에서는 얻기가 困難하며 固體表面이라고 해도 第3의 物質의 膜이 그 위를 덮고 있으며 表面에서 순수한 固體面까지 數百Å이란 特殊層이 摩擦面間에 끼이게 되어 摩擦이 固體와 固體와의 接觸面의 現象이기 때문에 이들 層이 摩擦面間에 끼이면 이것이 일종의 潤滑膜의 作用을 해서 目的으로 하는 材質間의 摩擦과는 약간 相異한 摩擦現象을 나타 낼 것이 豫想된다.

그러나 이와 같은 吸着分子膜이나 金屬酸化膜 혹은 加工變質層等を 完全히 없애기에는 大氣中에서는 不可能한 것과 가령 特殊裝置를 해서 完全히 깨끗한 固體表面의 摩擦을 시켜도 大氣中의 摩擦現象을 넓게 取扱하고 있는 現實에서 보면 그것이 오히려 特殊現象이 아닐까 생각된다. Coulomb이래 많은 說들도 大氣中에서의 現象을 생각해 왔기 때문에 本實驗에서도 大氣中의 깨끗한 面의 摩擦問題로 다루기로 한다. 또 한가지 問題가 될 것은 이렇게 해서 얻은 熱起電力

即 溫度가 試驗片의 어느점의 溫度를 表示하는 가 하는 問題이다. 걸 보기의 接觸面 內의 接觸面積이 대단히 작기 때문에 熱起電力의 發生도 이 작은 接觸點에서 할 것이다. 그리고 接觸點의 크기나 그 점들의 負荷도 一定치 않을 것이므로 Fig. 3에서 表示한 바와 같이  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 의 電池를 並列로 接續했을 때의 起電力으로 생각한다.

지금 그림과 같이  $E_1, E_2$ 의 두개의 起電力이 並列로 接續해 있고  $E_1 > E_2$ 이면 電流는 당연히 그림처럼  $E_1$ 에서  $E_2$ 로 흘러서 이 電流를  $i$ 라 하고 外部抵抗을  $r_1, r_2$ 라고 하면  $E_1 - E_2 = i(r_1 + r_2)$ ,  $E = E_1 - ir_1$ 이란 關係에서  $i$ 를 消去해서

$$E = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

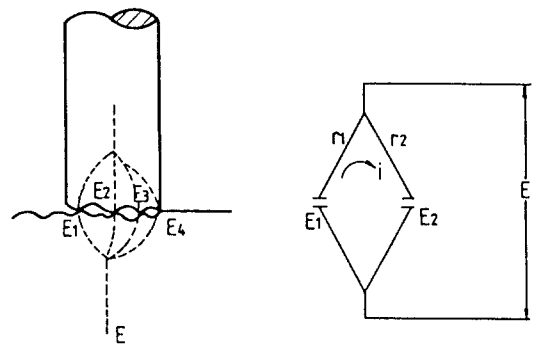
을 얻으며 一般的으로  $r_1 = r_2$ 로

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

이 되어 각 接觸點의 算術平均이 全體의 起電力이 되는 것으로 한다.

더욱 嚴密히 생각해 보면 하나의 接觸點 中에서도 場所에 따라서 溫度가 變化한다고 할 수 있는데, 測定되는 溫度는 위의 생각에 따라서 接觸點의 全面積에 대해서 面積平均의 溫度라고 생각한다.

接觸點들의 끊임없는 變化狀態를 瞬間적으로 觀察하기 위하여 實驗裝置의 端子에 오실로스코프를 連結하여 記錄하였다.



Model of EMF Mean of both  
Fig. 3. Mean value of electromotive force.

實驗結果 및 考察

3.1. 下部試驗片을 鋼으로 하고 上部試驗片을 콘스탄탄으로 했을 때의 熱起電力

異種金屬의 摩擦時 發生되는 熱起電力으로 인한 溫度變化狀態를 알기 위하여 上部에 콘스탄탄 摩擦, 下部에 炭素鋼의 試驗片을 使用하여 熱起電力과 摩擦距離 關係를 荷重을 파라미터로 하여 測定한 것이 Fig. 4 이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 摩擦距離가 커짐에 따라서 溫度가 上昇하고 있으며 荷重이 增加함에 따라서 溫度가 下降하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 上部에 콘스탄탄 試驗片, 下部에 炭素鋼을 使用하여 定速狀態에서 荷重에 따른 熱起電力, 摩擦力 그리고 摩擦係數 間의 關係를 알아본 結果이다. 荷重이 적은 쪽에서 熱起電力이 크고, 即 溫度가 높고 荷重이 增加함에 따라서 熱起電力 即 溫度가 下降해가는 것을 알 수 있다.

이것은 우리의 豫想을 어긋나게 하는 要因이

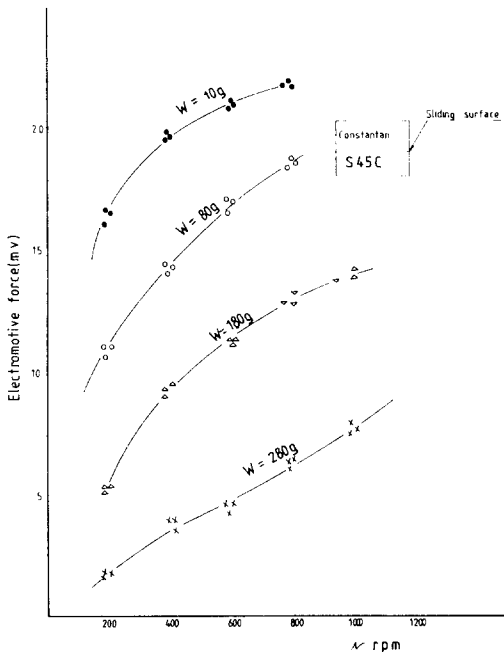


Fig. 4. Variation of temperature distribution for various r.p.m. with parameter load in constantan.

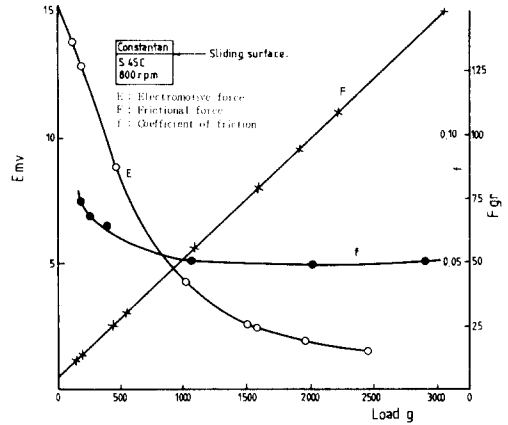


Fig. 5. Milivolt, frictional force and coefficient of friction for bottom plate contacting with constantan slider at various load and constant speed.

있는 것을 알 수 있다. 荷重이 增加하니 摩擦力도 直線的으로 增加하고 이 摩擦力은 零부터 시작하지 않고 어떤 定數부터 始作하고 있음을 알 수 있다. 摩擦係數는 荷重이 적은 곳에서 크고 荷重이 1000g을 넘는 範圍에서 大略 一定하게 安定되고 定常狀態가 되어가는 것을 알 수 있다.

3.2. 下部試驗片을 鋼으로 하고 上部試驗片을 鋼으로 했을 때의 熱起電力

上部에 銅 試驗片을 下部에 炭素鋼을 使用하여, 熱起電力과 摩擦距離의 關係를 荷重을 파라미터로 하여 測定한 結果가 Fig. 6이다. 그림에서와 같이 rpm로 表示된 摩擦距離가 增加함에 따라서 熱起電力이 上昇하고, 荷重이 增加할수록 熱起電力이 낮게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 上部에 銅 試驗片을, 下部에 炭素鋼을 使用하여 荷重과 熱起電力, 摩擦力 그리고 摩擦係數와의 關係를 나타낸다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 荷重이 增加할수록 溫度降下가 甚하고 대략 荷重이 600g 近處에서 부터 溫度가 安定되고 있으며, 한편 摩擦力은 어느 定數를 가지고 시작하여 直線的으로 荷重에 正比例해서 增加하고 있음을 알 수 있으며 이것이 이때의 狀態가 境界狀態<sup>19)</sup>인 것

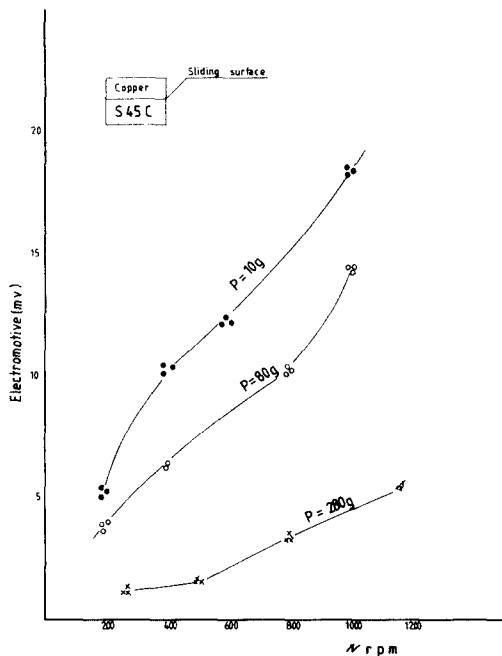


Fig. 6. Variation of temperature distribution for various r.p.m. with parameter load in copper.

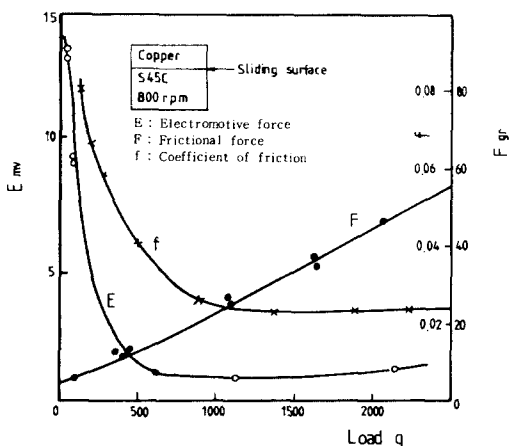


Fig. 7. Milivolt, frictional force and coefficient of friction for bottom plate contacting with copper slider at various load constant speed.

을 말해 주고 있다.

또 摩擦係數는 輕荷重의 狀態에서 높은 값을 나타내다가 荷重이 800~900g 近處부터 大略 一定하게 되어 定常狀態로 移行하고 있는것을 알 수 있는데 이 현상 또한 境界狀態의 特性이라고

볼 수 있다.

Fig.8에서 切頂 速度를 一定으로 해놓고 그 외의 因子들은 常數이고 發生熱量은 荷重만의 函數로 表現되며 接觸面積이 表面溫度에 많은 影響을 준다고 생각된다.

一般的으로 發生熱量  $Q$ 는 荷重을  $W$ , 摩擦面에서의 相對速度를  $V$ 라고 할 때

$$Q = \frac{\mu WV}{J} \quad (3.5.1)$$

로 表示되며 接觸電氣抵抗  $R$ 은 負荷의 函數로 表現<sup>20)</sup>된다.

$$R = C \frac{1}{W^n} \quad (3.5.2)$$

試驗片의 先端의 構造上 接觸抵抗은 大略 接觸面積  $A$ 에 反比例한다고 생각됨으로

$$A = \pi r^2 = CW^n \quad (3.5.3)$$

(3.5.2)式에서  $n=1$ 이면 塑性變形<sup>21)</sup>을 뜻하고  $n=2/3$ 이면 彈性變形을 뜻하는 것으로서 Hencyky<sup>22)</sup>, Ishlinsky<sup>23)</sup>의 報告에 의하면 銅에 대해서는 塑性變形이 일어나고, 콘스탄탄의 境遇는 輕荷重일 때는 彈性變形이나 接觸面上에서의 平均壓力이 그 材料의 彈性限도의 約 3倍를 넘으면 塑性變形을 일으켜 流動하는 것과 같은 段階에 到達한다고 한다.

따라서 金屬面 끼리 아주 적은 荷重으로 接觸시켰을 때에도 表面의 아주 작은 凹凸의 近傍의 材料는 彈性限도를 넘은 應力을 받고 있는 것이 된다.

Fig.4에서 一定 荷重下에서 熱起電力은 速度에 比例해서 增加하는 것을 알 수 있었다. 또 荷重이 높을수록 熱起電力이 낮고, 荷重이 적을수록 熱起電力이 높은 現象을 보인다. 式(3.5.3)에서 荷重이 커지면 接觸面積도 커지기 때문에 面積이 커지면 質量  $m$ 도 커지며 따라서 溫度  $t$ 는

$$t = Q/mc \quad (3.5.4)$$

에 依據하여 溫度가 낮아진다고 생각된다.

이러한 見地에서 보면 研磨作業을 한다는 것도, 研磨를 通하여 接觸面積의 增大를 가져오게 되고 따라서 摩擦面의 溫度를 降下시키는 效果를 피한 것이 아닌가 생각된다.

Fig.8는 下部에 炭素鋼, 上部에 콘스탄탄 試驗片에서 瞬間瞬間의 摩擦溫度의 變化狀態를 오

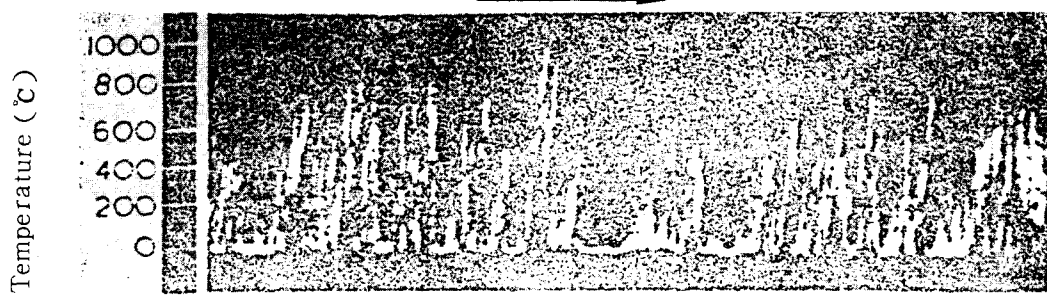


Fig. 8. Temperature changing range taken by  $\frac{\text{sec}}{\text{osc}}$  oscilloscope in condition of 500g load and 800 r.p.m.

실로스코프로 기록한 것으로서 荷重500g 回轉數 800rpm 下에서의 狀態이다.

最高溫度는 1000°C에 到達하나 그 持續時間은 불과 10<sup>-4</sup>秒 程度이며 더욱이 이 接觸點들이 摩擦中에 끊임없이 變動하는 것에 對應해서 溫度도 또한 一秒間에 數百番이나 불꽃처럼 變動한다. 이와같은 事實은 摩擦의 메카니즘으로서 그 自體가 대단히 重要하고 摩擦面의 溫度가 瞬間의으로는 鐵이나, 銅도 녹일 수 있는 高溫에 達한다는 事實이다.

一般的 實驗에서 나타내는 溫度(熱起電力)는 Fig.8에서 나타내는 瞬間溫도의 平均溫度 即 接觸點의 全面積에 대한 面積 平均의 溫度라고 할 수 있다.

이와 같은 計器에서 읽는 溫度는 面積平均溫度로서 그 内部에서는 瞬間의이나마 高溫이 되는 回數가 많다는 것을 確認할 수 있다. 이 때문에 摩擦面에 준 潤滑油도 이와 같은 高溫에서는, 받은 熱에너지 때문에 그 吸着分子膜이 녹아서 깨끗한 潤滑膜을 만들 수 없든가, 酸素가 結合해서 酸化하든가, 其他 分解 重合等の 化學反應을 일으켜 潤滑이 機能을 잃는 것으로 생각된다. 船舶이나 車輛機關이 高速長時間 運轉해서 燒損되는 重要한 原因은 一般的으로 高荷重보다도 高溫에서 오는 潤滑油의 變質때문이라고 생각된다.

### 3.3. 實驗結果의 考察

異種金屬間의 摩擦抵抗은 表面의 凹凸部에서 그 各各의 凹凸들이 서로 맞부딪치고 或은 맞물리는 것으로 생각할 수 있다.

그러므로 그 凹凸部에서는 塑性變形과 破壞現象이 共存한다. 그러나 運動을 繼續하기 위해서는 이 맞물림이나, 맞부딪침에 이겨내야하는 作用이 必要한 것이다.

固體摩擦이란 微小한 接觸點에 있어서 金屬의 凝着部의 塑斷現象이기 때문에, 物理的인 性質이 相異한 各種 試驗片들을 摩擦시킬 때, 荷重을 增加하면 異種金屬의 接觸部의 凸部에서는 凝着이 始作되면서 試驗片이 相對運動을 하게 되고, 이때 塑斷力이 생겨 凝着되었던 部分이 떨어져 나가는 것이 磨滅現象이다. 그러므로 磨滅을 적게 하기 위해서는 凝着이 일어나는 條件을 減少시킬 必要가 있는 것은 當然한 일이다.

一般的으로 金屬表面의 原子는, 그 材料의 融點을  $T_m$ 라 하면  $T=0.3T_m$  程度에서 擴散現象이 顯著하게 나타난다는 報告<sup>24)</sup> 등으로 미루어 볼 때 摩擦熱로 인한 凝着도 일어날 것으로 생각되며 이 때 磨滅量도 增加할 것이 豫想된다.

한편 摩擦熱로 인한 新物質의 形成도 考慮할 수가 있다. 여기서 酸化物의 形成等은 잘 알려져 있는 事實이며 또 變態에 依하는 物質變化, 化合物의 形成, 分解, 規則格子의 形成等이 考慮될 수 있을 것이다. 그러므로 靜의 狀態에서는 생각되지 않는 變化들이 일어나고 있으며, 浸炭을 한 材料에서 石墨이 運轉中 그라파이트(graphite)가 生成<sup>25)</sup>되고 그것이 潤滑物質로서 作用하고 있는 것이 觀察되고 있는 例도 있다.

熱起電力이 安定한 콘스탄탄을 試驗片으로 한 異種金屬의 接觸時 일어나는 溫度變化特性에 關한 實驗에서 回轉數를 變化시키면서 荷重을 파

라미터로한 結果는 荷重이 큰 곳에서 熱起電力이 적게 나타나고 있는 것을 觀察할 수 있었다.

이것은 接觸面에서 數많은 突起中의 하나인 凸部를 생각할 때 그 圓錐突起의 꼭지點의 半徑은 대단히 작기 때문에 아주 적은 荷重을 加하더라도 그곳의 壓力은 대단히 높게 되어 그곳에는 塑性變形이 쉽게 일어나며 時間이 지남에 따라서 接觸部의 半徑도 自然히 增加하게 된다. 實際의 接觸面에서는 荷重이 加해지면 接觸點에서 塑性變形이 일어나고, 材料의 降伏應力과 面積과의 積이 荷重에 均衡을 이룰 때까지 接觸面積이 增加한다.

普通 溫度란 것은 어떤 發生熱량을 質量과 比熱의 積으로 나눈 값이기 때문에 質量이 적은 곳에서는 溫度가 높아가고, 質量이 큰 곳에서는 溫度가 낮아지므로 接觸面積이 增加하는데 따른 實驗結果를 說明할 수 있을 것이다. 同時에 摩擦力도 測定한 結果 大略 荷重과 正比例해서 直線的으로 變化하고 있는 것을 알 수 있으며 이것이 境界狀態에 있다는 것을 말하고 있다.

摩擦面의 溫度는 摩擦金屬自體의 平均溫度에 比해서 훨씬 높은 값을 나타내고 있다는 것을 Fig. 8에서 읽을 수 있다. 여기서는 荷重 500g, 800r. p. m. 로 콘스탄탄과 軟鋼을 摩擦시킬 때의 摩擦溫度를 오실로 스코프로 記錄한 것이며 最高溫度는 1000°C에도 到達하며 비록 持續時間은 10<sup>-4</sup> sec 程度로 짧았으나, 凝着現象이 일어날 가능성이 있다.

따라서 各種金屬의 接觸時 그 最高溫度는 그 金屬의 熔融點 근처의 溫度까지 올라간다는 것을 알 수 있으며 이 現象은 Bowden의 凝着說을 實證하는 것으로 생각된다.

## 結 論

異種金屬間의 摩擦時에 일어나는 溫度變化 特性을 알기 爲하여 콘스탄탄, 銅과 炭素鋼間의 摩擦時 發生하는 熱의 傳導 및 傳達狀態를 實驗한 結果, 다음의 結論을 얻었다.

- 1) 異種金屬間의 摩擦時 表面溫度는 瞬間적으로 1000°C를 넘는 경우가 있으며 이는 從來의 凝着摩擦說을 뒷받침하는 것으로 思慮된

다.

- 2) 摩擦時 表面溫度는 荷重이 增加하면 溫度가 上昇하는 것이 普遍的이나 本實驗에서 使用한 圓錐形 試驗片에서는 荷重이 增加하는데 따라 溫度가 下降하는 現象이 觀測되었다.

## 參 考 文 獻

- 1) J. S. McFarlane and D. Tabor: Adhesion of Solids and the Effect of Surface Film. Research Laboratory on the Physics and Chemistry of Rubbing Solids, Department of Physical Chemistry, Univ. of Cambridge p. 225 (1950).
- 2) K. V. Shooter: Frictional properties of plastics, University of Cambridge, p. 488(1976).
- 3) F. P. Bowen: The Mechanism of Friction, Laboratory of Physical Chemistry, University of Cambridge, p. 440(1980).
- 4) A. J. W. Moore and W. J. McG. Tegar: Relation between Friction and Hardness, Division of Tribo Physics, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, p. 452(1980).
- 5) Takao Kayaba, Kohji Kato: Experimental Investigation of the Technology Reports, Tohoku University, Sendai, vol. 46 No. p. 73 ~ 92(1981).
- 6) J. J. Bikerman: On the formation and structure of multilayers, Department of Colloid Science, Cambridge, p. 130(1938).
- 7) R. Holm: Electric Contacts, Springer-Verlag, p. 315(1967).
- 8) J. T. Burwell and C. D. Strang: Metallic Wear, M. I. T. p. 470(1980).
- 9) F. E. Simon: Comments on the Energetics of the Frictional Process discussion Meeting. London p. 477(1984).
- 10) A. J. W. Moore: Discussion Meeting, Comments on the Energy of Deformation during Sliding, London p. 488(1984).
- 11) R. Wilson: Thornton Research Centre, Shell, Chester p. 480(1980).



304 韓國船用機關學會誌, 第11卷 第4號, 1987

- 12) H. Blok: Note on Bieck's Comments, London, p.483(1982).
- 13) Alastair Cameron: Basic Lubrication Theory. John Wiley & Sons, NewYork p.126(1980).
- 14) F.P. Bowden and D. Tabor: The Friction and Lubrication of Solids 會田譯, 丸善, 東京 p.32(1961).
- 15) J.C. Jaeger: Moving Sources of Heat and Temp. at sliding Contacts Proc. of the Roy. Soc., of south Wales, vol.76, p.203(1942).
- 16) 松永正久: 固體潤滑ハンド・ブック. 幸書房, 東京 p.20(1982).
- 17) 辛政教, 李友桓: 異種金屬間の溶着磨滅에 관한 研究, 韓國船用機關學會誌 vol.9, No.1, p.76(1985).
- 18) 隈部淳一郎: 表面加工, 實教出版社, 東京, p.46~47(1987).
- 19) Alastair Cameron: Basic Lubrication Theory, John Wiley & Sons, NewYork p.212(1981).
- 20) 佐藤健兒: 表面工學, 養賢堂(東京) p.67(1972).
- 21) F.P. Bowden and D. Tabor: 前掲書 14) p.9.
- 22) Nils Gralen: Friction between Single Fibers, Swedish Institute for Textile Research, Gothenburg, p.494(1980).
- 23) A.J. Islinsky: Journal Applied Math.3. p.233(1944).
- 24) F.P. Bowden and T.P. Hughes: Principle of Powder Metallurgy, Cambridge, 139, p.64(1967).
- 25) 中島耕一, 島田江斗: 凝着磨耗を中心にした磨耗, 日本金屬學會報 12, 東京, p.73(1973).