

固体潤滑劑의 原理와 應用

中央大學校 工科學 教授
韓國石油品質檢査所 理事長
姜 龍 植

固体潤滑劑란 固体物質이 갖고 있는 여러가지 性質을 利用하여 潤滑의 役割을 担当시키는 것을 對象으로 한다.

固体潤滑劑는 動作中의 摩擦表面에 얇은 層을 形成함으로써 潤滑效果가 發現하게 되며, 그렇게 하기 위해서는 摩擦表面에 固体潤滑劑를 미리 乾燥被膜으로 附着시키던가, 複合材料 中의 一成分으로 材料에 含有시키던가, 기름이나 그리스 또는 다른 流体나 왁스 등과 같은 軟固體를 媒質로 쓰는 경우 등이 있겠다.

剪斷抵抗이 적은 物質의 얇은 表面層이 생기면, 滑動에 따르는 物質內의 流動이 그 表面層內에서 이루어져서, 潤滑劑가 없는 경우에 비해서 摩擦과 摩耗가 적어진다.

그러나 固体에 의한 潤滑層의 剪斷抵抗은 摩擦面材料에 비해서 대단히 적은 것은 못됨으로 使用條件에 따라서는 潤滑效果를 全然 發顯하지 못하는 경우도 있다. 즉 그것은 固体의 剪斷抵抗이 溫度나 霧困氣에 의해서 固有의 變化를 하고, 또 表面層과 内部의 応力分擔을 하는 방식이 使用條件에 따라서 달라지는데에 基因한다.

固体에 의한 潤滑法은 液体에 의하는 경우보다, 低速이고, 高荷重時나, 高温 또는 高速高荷重에 의해서 溫度上昇이 심할 때에 效果를 나타낸다.

특히 高温에서 使用할 때, 기름의 汚染을 避해야 하는 경우, 또는 電氣接点等에서는 摩擦, 摩耗를 줄이고, 耐久性을 增進하고, 機械의 信賴性을 높이기 위하여 固体潤滑에 依存하게 된다.

固体潤滑法은 摩擦과 摩耗의 모든 問題들을 包含하고 있기 때문에 技術적으로 複雜해 보이나, 固体의 摩擦摩耗機構에 對한 理解가 깊어

집에 따라서 固体潤滑劑의 合理的인 應用技術이 急速하고 廣範圍하게 確立되어가고 있다.

1. 固体潤滑의 原理

潤滑劑가 없이 摩擦하는 金屬은 表面 아래까지 밀리어서 結局에는 凝着部의 巨視的인 剪斷破壞를 일으키게 되나, 摩擦面사이에서 얇고, 물른 物質을 겹쳐놓으면 下地材料는 심하게 損傷되는 일 없이 流動해서 적은 摩擦力과 無視할 수 있는 摩耗率로서 미끄름을 繼續하게 된다. 이것이 바로 固体潤滑劑의 效果라 하겠다.

摩擦을 하고 있는 表面層은 當然히 相對面에 附着해서 그 면에도 大体로 같은 表面層을 形成하게 되며, 이 表面層이 下地에 비해서 適當히 무르고, 얇은 경우에는 摩擦初期에는 脫落하는 일은 거의 없다.

그러나 反復摩擦을 하게 되면 表面層 材料는 物理的 및 化學的 變質을 하게되어 初期의 부드러움을 잃던가, 또는 下地表面附近, 界面에서의 疲勞破壞에 의한 脫落等때문에 急激히 摩耗가 增大하는 壽命에 到達하게 된다.

이 壽命은 같은 材質의 表面層이라도 使用條件이나, 下地材料에 의해서 크게 달라진다. 良質의 被膜인 경우에는 $5\mu m$ 程度의 두께로서도 $100kg/mm^2$ 程度의 面壓으로 수십km의 走行에도 壽命에 到達하지 않는다(그림 1 參照).

靜水壓下에서는 크랙은 생기기 어렵고, 延性和 破壞強度가 顯著하게 增加되는 것이 옛부터 알려져 있다.¹⁾

摩擦面 近傍에서도 이와 類似한 現象이 觀察되어²⁾ 表面近傍에서는 材料의 流動은 勿論 가장 심해서 轉移密度도 크고, 加工硬化도 最大가 되

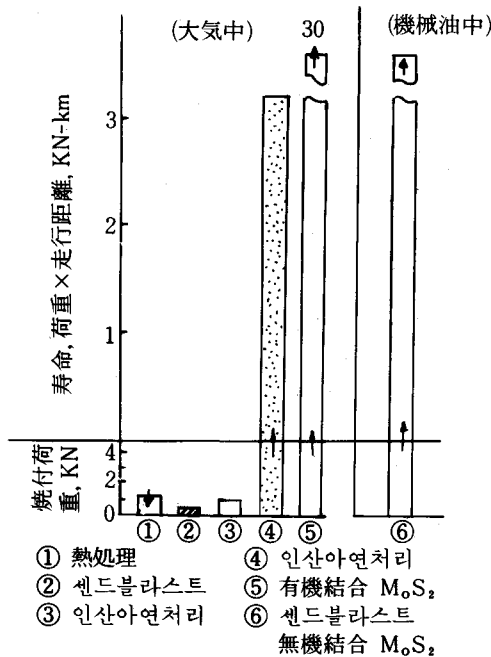


그림 1. 固体潤滑劑被膜의 4.5KN에서의 壽命 (下地: 工具鋼, 파레스試驗機)

나, 거기에는 크랙은 거의 發見되지 않으며, 加工硬化層의 下部에 많은 가늘고 긴 空隙(Void)과 그것들이 連結된 微小크랙이 發見된다. 이 크랙이 摩耗의 主因이 되는 것으로 생각되고 있다.

軟質被膜이 硬質下地위에 附着되어 있으면 그 材料의 層속에는 크랙이 생기지 않을 것이 推定되고, 이것은 얇은 層이 두꺼운 層보다 摩耗率이 낮은 그림 2의 實驗結果로서도 確認이 된다.

固体潤滑劑의 主流를 이루는 것은 層狀의 그것이라고 말할 수 있겠다.

潤滑性能의 点에서 層狀 固体潤滑劑가 特別優秀한가에는 問題가 있겠으나, 여하튼 品質이 比較的 高른 것이, 必要量, 比較的 손쉽게 얻을 수가 있고, 市場性의 点이나, 有害性이 없다는 点에서 層狀 固体潤滑劑보다 낡은 固体潤滑劑는 없다.

따라서 層狀 固体潤滑劑의 潤滑機構를 살펴보면 結晶의 剝離와 粒子間의 미끄러움이 모두 固体潤滑에 關與하는 것으로 생각 되고 있다.

勿論 條件의 差異에 의해서 한쪽이 보다 強하게 潤滑特性을 支配할 수도 있겠으나 基本的으로는 兩者가 共存하는 것으로 생각이 되고 있다.

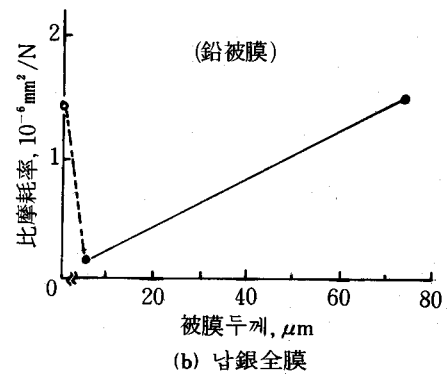
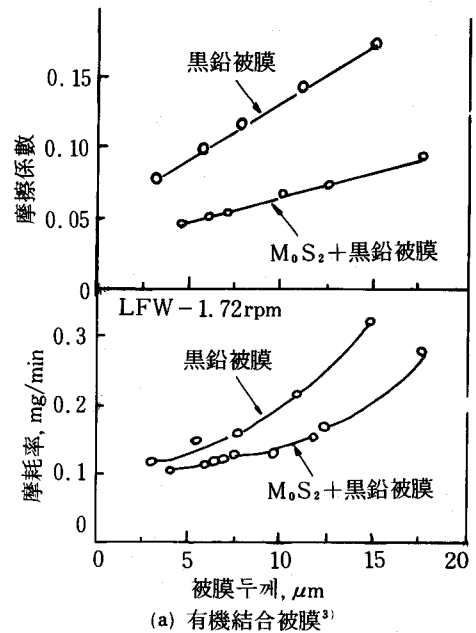


그림 2. 軟生表面層의 두께와 摩耗率

剪斷은 ① 結晶內, ② 結晶粒子間, ③ 結晶粒子和 下地와의 사이에서 일어날 것이나, ③의 附着性이 強하고, 또 ①과 ②의 抵抗이 적다는 것이 重要하다. 또 어떠한 경우이던간에 相對運動을 하는 二面間에는 潤滑被膜 外에도 脫落粒子, 破碎粒子, 摩耗粉 其他를 包含하는 浮動性 流動層이 반듯이 存在하게 되며, 이 流動層이 갖는 役割은 相當히 큰 것으로 생각이 되고 있다.

2. 固体潤滑劑의 特性

潤滑性 固体의 材料의 側面의 特性을 살펴보기로 한다.

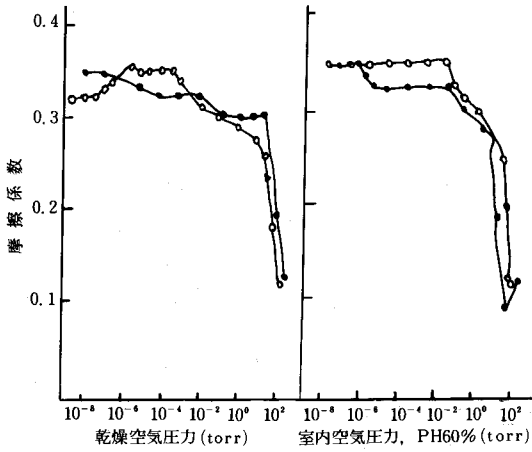


그림 3. 黑鉛의 摩擦係數의 雰囲気依存性

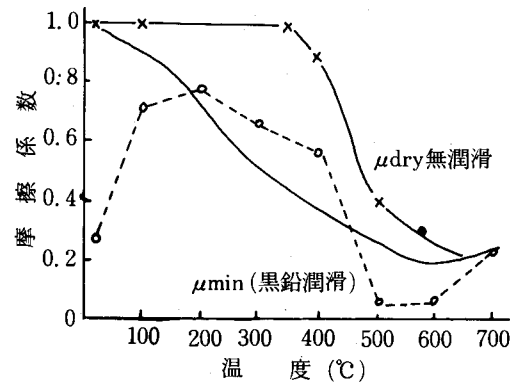
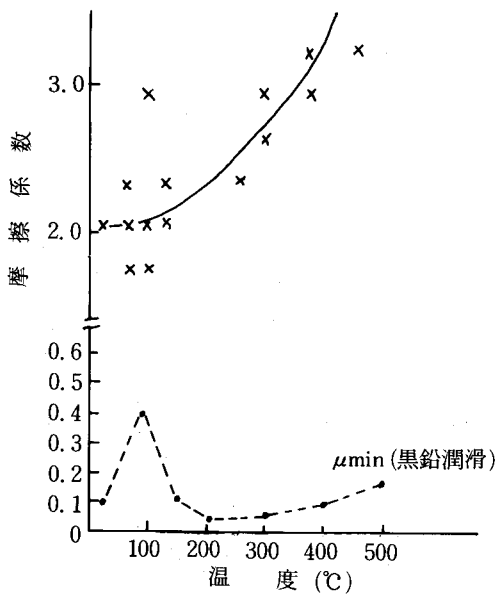


그림 4. 얇은 黑鉛被膜에 의한 摩擦係數의 温度 下地材料 依存性

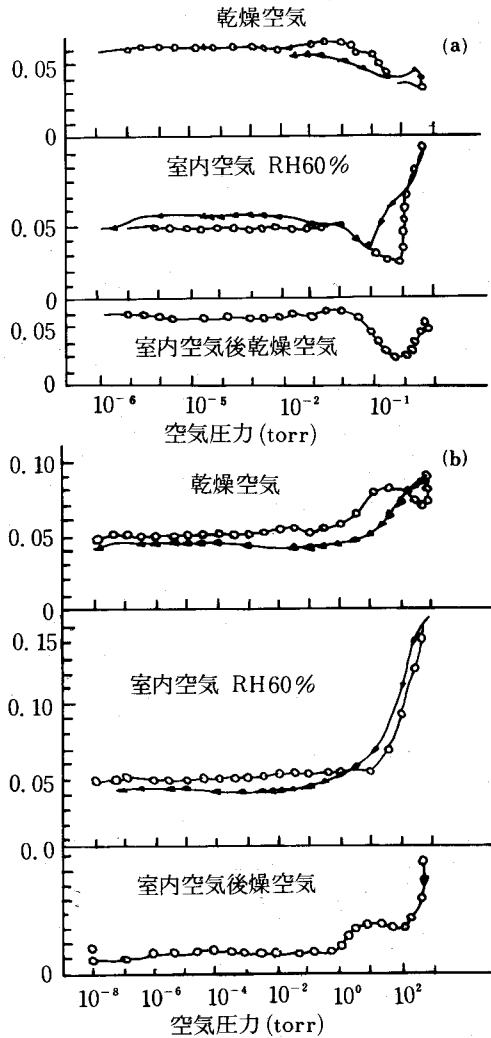


그림 5. 二黃代몰리브덴 (a)와 二黃化 텡그스텐 (b)의 摩擦係數의 雰囲氣依存性

(i) 黑鉛: 低荷重, 低速과 같이 温度上昇이 없는 大氣中에서의 摩擦部位나, 油中 또는 水中에서 有効하다(그림 3 參照). 또 그림 4 에서 보듯이 温度上昇이 있는 경우에는 黑鉛의 應用은 複雜한것이 된다.

(ii) 二黃化몰리브덴: 温度가 큰 곳에서는 몰과의 部分的 反應에 의해서 耐摩耗性이 심하게 劣化되고, 摩擦係數도 上昇傾向을 나타낸다(그림 5 a 參照).

二黃化텡그스텐은 그와 같은 雰囲氣에 對해서 더욱 敏感하다(그림 5 b 參照).

温度가 上昇하면 200°C 程度까지에는 潤滑性은 도리어 좋아지고, 그것이 酸化하는 350°C나

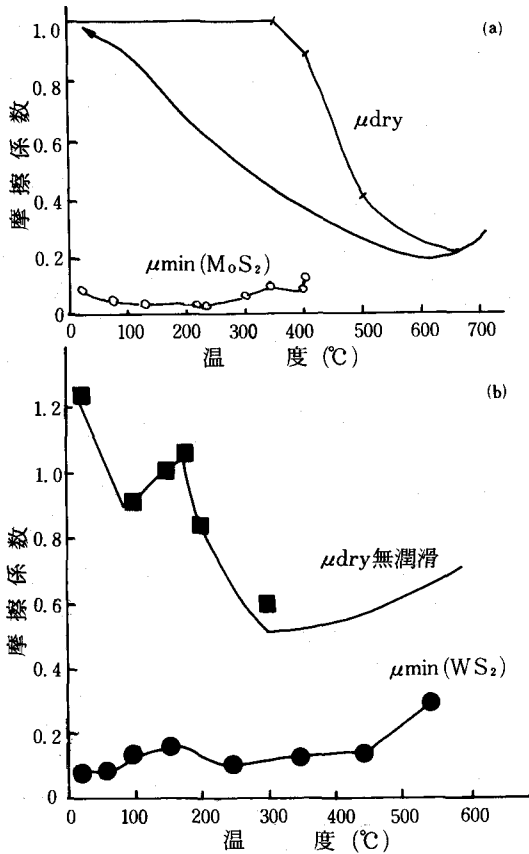


그림 5. 얇은 二黃化몰리브덴(a)과 二黃化 텡그스텐(b)의 摩擦係數의 溫度依存性(下地는 銅)

450°C 정도가 되었을 때의 下地材料에 의한 影響은 黑鉛과 같이 明確치가 않다.

(iii) 납型和 炭化텡그스텐型: 下地材料에 比해서 變化되기 쉽기 때문에 摩擦, 摩耗를 낮출 수 있는 납등의 軟質의 被膜材料와, 炭化텡그스텐과 같이 굳어서 摩耗를 낮추는 것이 있다.

따라서 前者의 경우에는 荷重이 下地에서 지탱되도록 表面被膜의 두께는 얇아야 有效하며, 後者の 경우에는 荷重이 모두 굳은 表面層에서 지탱되도록 두꺼워야 한다.

또 납形은 摩擦係數를 낮추는 效果도 있으나, 被膜의 摩耗에 對한 壽命이 짧은 欠點이 있으며, 炭化텡그스텐型은 摩耗에 對한 壽命은 두께에 의해서 延長이 可能하나, 摩擦係數는 낮지가 않다.

3. 固体潤滑被膜의 生成

固体潤滑被膜은 鍍金, 灌裝, 또는 化學 反應

等에 의해서도 만들 수가 있으며, 高温에 있어 서의 固体潤滑被膜으로서 金屬의 表面酸化物이 때에 따라서는 有效함은 잘 알려진 事實이다.

油中에 分散되어 있는 軟質의 固体粒子가 下地 表面에 附着하는 機構에 對해서는 아직 充分한 究明은 없으나, 여러가지 作用들이 複合해

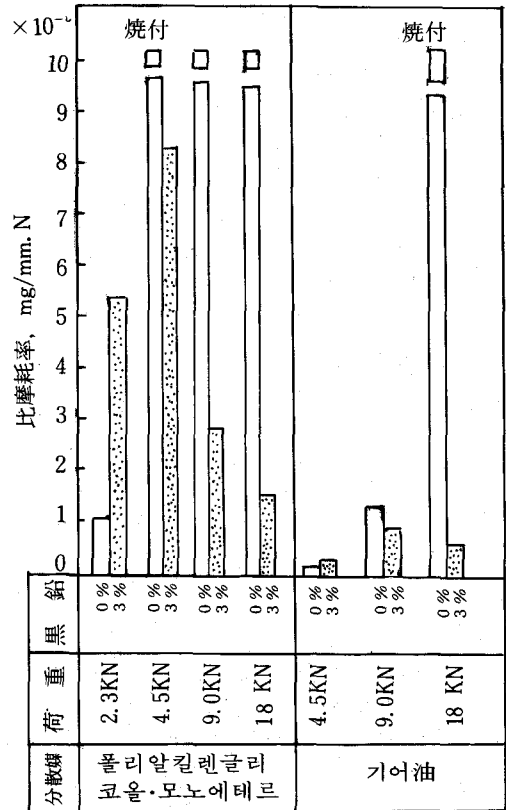
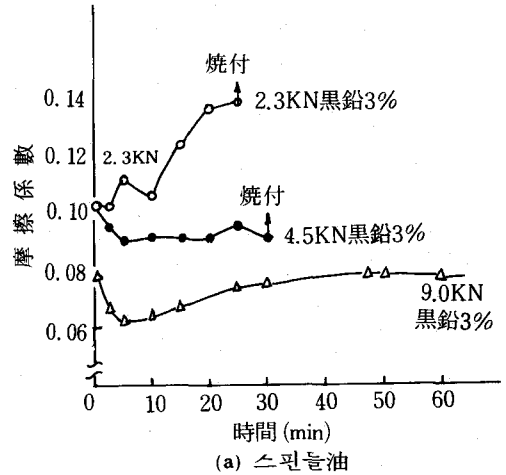


그림 6. 黑鉛添加效果의 荷重에 의한 變化⁴⁾

서 이루어지는 것은 確實하다.

그중의 하나는 力學的 作用에 의해서 摩擦表面에 埋入되는 機構이며, 이 作用을 위해서는 油中에 있는 固体粒子의 結晶構造의 異方性이 强하고, 摩擦面에 垂直으로 埋入이 됨으로서 效果의인 潤滑性 被膜이 形成하게 된다.

電子回折로서 摩擦面을 調査한 結果로도 異方性이 强한 固体가 有効한 固体潤滑作用을 나타내는 경우에는 반듯이 같은 方向은 表面에 垂直하게, 그리고 才一 물른 方向은 表面에 平行하게 配列하는 것이 알려져 있다.

또 이 作用이 相当히 支配的으로 생각되는 證據로서, 面圧이 적을 때에는 油中에서의 固体膜의 生成이 적고, 固体의 潤滑作用이 認定되지 않는다는 事實을 들을 수가 있다.

乾燥粉末을 表面에 놓으면 摩擦로 面圧이 큰 部分에서는 그 粉末이 表面에 密着해서 단단한 被膜이 되나, 反對로 面圧이 낮은 部分에서는 粉末이 밖으로 밀려나서 金屬面이 노출된다.

그림 6에서 보듯이 黑鉛粉末을 分散시킨 기름을 썼을 때에 比較的 낮은 面圧에서는 燒付가 되나, 高面圧에서는 도리어 燒付가 않되는 常識에 벗어난 事態까지도 일어난다.

下地面材料는 물른 것일수록 그 위에 처한 被膜生成에 有利하다.

또 觀察結果에 따르면 下地表面의 微小凹部 보다는 微小凸部에 도리어 潤滑性 固体가 보다 强하게 附着한다.

固体潤滑膜의 有効두께에 대해서는 摩擦表面의 粗度가 그림 7과 같이 凸部の 露出形態로 論한 것도 있으나³⁾ 常識에 벗어나는 것으로 생각이 된다.

그와는 反對로 下地表面의 凹부에 押込된 粒子가 強力한 附着核을 形成한다는 機構가 있

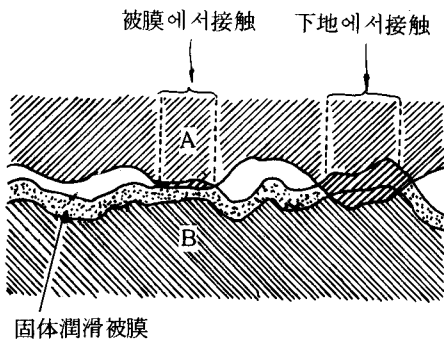


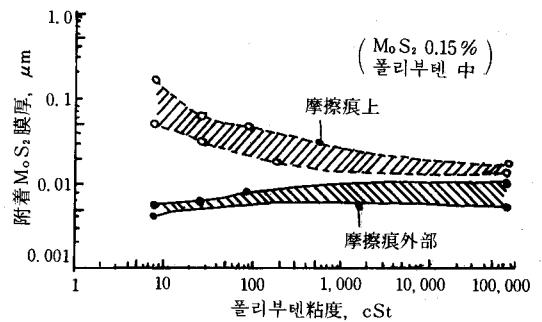
그림 7. 摩擦過程에서의 被膜의 幾何的 破壞 모델⁵⁾ (觀察과 不一致)

며, 이것은 粉末粒子를 灌布하는 경우에 表面粗度가 클수록 附着膜이 두껍게 成長하는 것이 觀察됨으로서 뒷받침이 되고 있다.

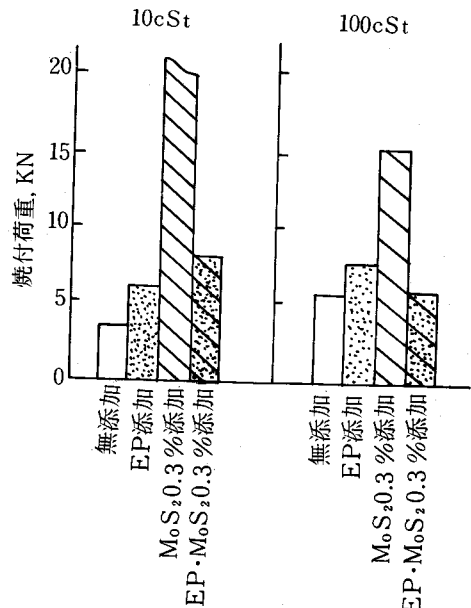
알기 쉬운 다른 作用으로서는 分散媒의 固化에 의한 固体粒子의 接着이 있으며, S, P, 또는 cl系의 EP添加劑가 共存하는 경우에 그것이 固体潤滑劑와의 相乘作用⁶⁾으로 그러한 作用을 하는 경우가 있는 것으로 推定이 되고 있다.

또 아직 詳細하게 究明된 것은 아니나 重要하게 생각되는 것은 分散媒와 固体粒子와 그리고 摩擦表面과의 사이의 物理, 化學的 作用을 생각할 수가 있다.

實際로 分散媒의 種類나 粘度 그리고 어떤 種



(a) MoS₂附着膜두께와 分散媒粘度



(b) 鉍油中 EP 添加劑(強吸着型) 共存의 影響

그림 8. MoS₂와 分散媒와의 適合性

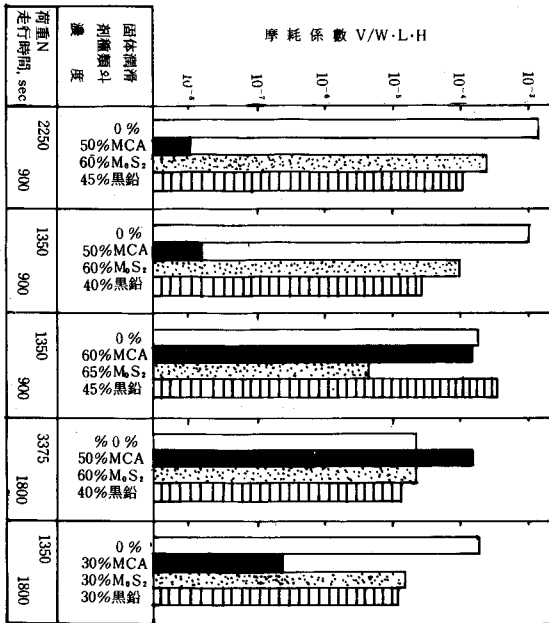


그림 9. 各種 固体潤滑劑와 分散媒의 適合性 (테이스트狀, 黃銅試驗片, 파렉스試驗機, MCA : 메라민시아누레이트)

類의 EP劑 (有機脂肪酸類)의 共存에 의해서 固体潤滑劑의 有効性은 顯著한 影響을 받는다 (그림 8 參照).

그러나 分散固体粒子的 種類가 달라지면 分散媒의 選擇性이 달라진다 (그림 9 參照).

分散媒의 適性에 대해서도 몇개의 作用機構가 생각된다. 즉 (1) 吸着分子膜의 強力性 때문에 分散固体粒子的 摩擦面에의 被膜生成이 어려운 경우로서, 分散媒의 粘度增加에 따라서 固体潤滑劑의 效果가 떨어지게 되는 것은 그 때문으로 생각이 된다. 또 摩擦面에 附着하는 固体潤滑劑量도 粘度增加에 따라서 減少한다. (2) 分散媒와 分散固体粒子間의 化學反應으로서 相互關係等과도 關聯해서 確認되어야 할 重要因子가 되고 있다⁷⁾ (3) 分散媒 分子의 吸着에 의한 效果로서, 摩擦, 摩耗와의 關聯에 대해서 若干의 實驗結果가 있으며, 非金屬固体의 原子間 結合電子의 狀態는 吸着分子가 만드는 電場에 의해서 影響을 받는 것이 明白해지고 있어서 固体粒子和 分散媒와의 選擇의 適合性을 說明할 可能性이 期待되고 있다.

固体粒子的 種類에 따르는 摩擦, 摩耗의 雰靄氣 依存性의 差異 (그림 10 參照)는 實用上 重要意義가 있으며, 雰靄氣도 分散媒의 一種으로 看做해서 既述한 바와 같은 角度에서 檢討가 되

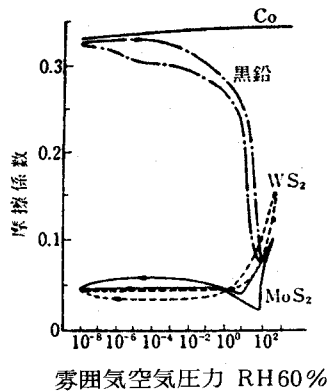


그림 10. 摩擦, 摩耗에 대한 雰靄氣依存性

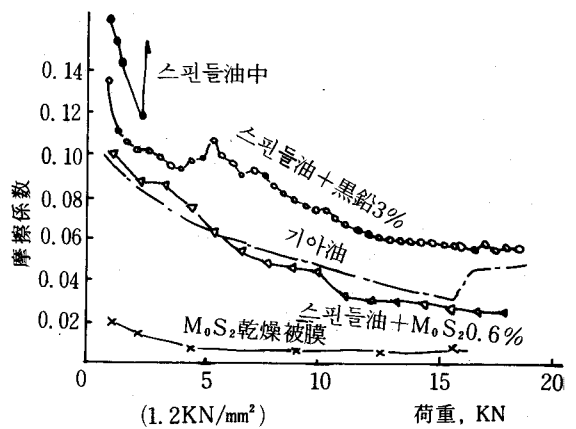


그림 11. 摩擦係數와 荷重의 關係

어가고 있다.

分散媒로서 가장 普遍的인 潤滑油와 黑鉛 또는 二黃化몰리브덴의 懸濁物, 固体潤滑劑를 含有치 않는 市販潤滑油 또는 油分을 全然 含有치 않는 二黃化몰리브덴을 主体로 하는 潤滑性 乾燥被膜의 高荷重下에 있어서의 摩擦係數를 比較하면 그림 11과 같다.

予想과는 反對로 기름을 全然 含有치 않는 乾燥被膜이 가장 낮은 摩擦係數를 나타내고 있어서 固体潤滑의 有効함을 나타낸다.

4. 固体潤滑被膜의 損傷

摩擦이 繼續됨에 따라서 固体潤滑被膜內의 結

晶은 차츰 微細하게 粉碎되고, 結晶內의 轉位 等的 欠陥이 顯著하게 增加하게 되며, 이와 같은 物理的 變質의 結果로서 被膜이 硬化되어서 初期의 潤滑能力을 잃게 된다.

또 摩擦 自体 또는 摩擦에 의한 被膜內의 欠 陷增加로 酸化等과 같은 雰囲気와의 反應이나, 下地材料에의 擴散이 促進되어서 被膜은 化學 的으로도 變質이 進行되어서 처음의 潤滑能力 을 잃게 된다.

얇은 被膜이라도 下地材料에 比해서 充分히 물리지 않으면 摩擦에 의해서 被膜이 깨어지기 쉽고, 또 摩擦에 의해서 下地材料에까지 損傷 을 주게 되어 界面이나 下地材料속에 많은 微 小破壞가 生成하게 되어서 摩擦이 심하게 進行 하게 된다.

被膜이 물려서 潤滑能力이 있어도 下地材料 内部에 조금씩의 미끄름이 反復되어서 疲勞破 壞가 생기고, 또 脆弱材質에서는 그러한 變形 에 견디어내지 못해서 破壞가 되어 摩擦粉으로 排出되는 경우도 있다.

따라서 固体潤滑膜을 効果의으로 長期間 쓰 기 위해서는 韌性和 硬度가 큰 材料를 下地材料 로 쓰고, 또 下地와 被膜의 界面에도 깨어지기 쉬운 不純物의 層이 생기지 않게 하는 技術이 重要하다.

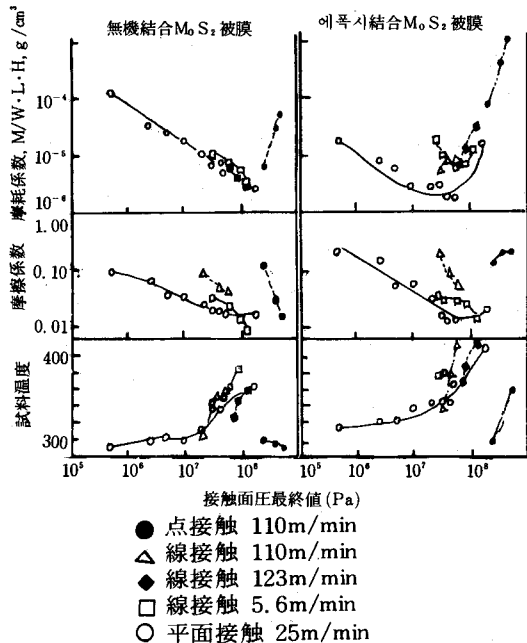


그림 12. 被膜의 摩擦, 摩擦에 미치는 面圧의 影響

一定한 두께의 被膜에 있어서는 面圧이 적으면 被膜中에서 破壞가 進行되어 摩擦率이 커지게 되고, 또 面圧이 一定限界以上이 되면 被膜이 있어도 下地材料內의 變形으로 早期破壞를 招來해서 摩擦이 增加하게 된다(그림 12.13 參照).

PV값의 增加로 溫度가 上昇하여 表面周邊의 化學變化나 材料의 半融에 의한 軟化 또는 材料中의 一部分의 氣化 등이 일어난다는 경우도 있다.

그림 10과 그림 13과 같은 黑鉛의 摩擦, 摩擦의 雰靄氣特性은 잘 알려진 事實이며, 한편 二 黃化 텨그스텐, 또는 二黃化 몰리브덴의 高眞空中에서의 摩擦, 摩擦은 黑鉛만은 아니나, 若干 增大되는 것이 알려져 있다.

또 大氣中이나, 大氣壓에 가까운 雰靄氣에서 의 摩擦係數는 그 雰靄氣에 放置하는 時間에도 敏感하게 依存한다.

그러한 雰靄氣에 대한 變化는 그림 14에서 보

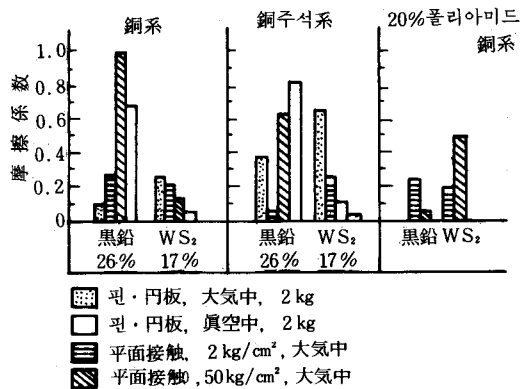
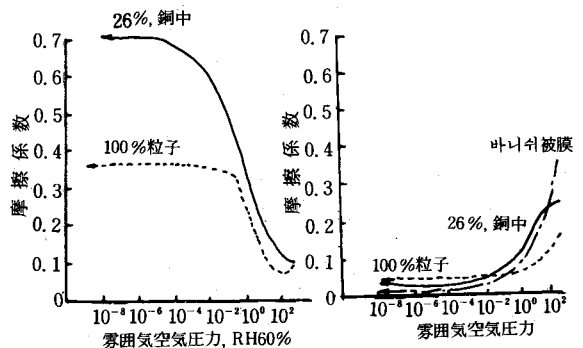


그림 13. 大氣中の 摩擦, 摩擦에 대한 PV 값의 影響



(a) 남 (b) 二黃化 텨그스텐
그림 14. 雰靄氣 依存性

듯이 潤滑性 固体粒子만을 굳힌것이 가장 鈍感이고, 그 固体粒자를 金屬試料위에 얇은 層으로 被覆하였을 때에 가장 敏感하며, 金屬基 複合材料로 썼을 때에는 中間이 된다.

이와 같은 摩擦, 摩耗에 對한 霧田氣效果는 히스테리시스를 갖고 있으나, 可逆的 變化이다.

또 霧田氣效果는 이온結合이나, 共有結合에 對는 敏感하고, 金屬結合에 對는 鈍感인 것이 알려져 있다.⁸⁾

6. 固体潤滑劑의 應用

潤滑이라 하면 潤滑油를 쓰는 것이 常道이나, 潤滑油를 쓸 수가 없던가 또는 쓰는 것이 대단히 困難한 경우에 固体潤滑을 생각하게 된다.

固体潤滑이 必要한 경우로서는 (1) 眞空中, (2) 特殊霧田氣中 特別 腐蝕霧田氣中, (3) 超高 또는 超低溫, (4) 放射線場, (5) 保守가 困難한 곳 (橋樑, 建造物中), (6) 永久潤滑, (7) 기름의 汚染을 避하는 경우, (8) 通電條件, (9) 極壓條件等이다.

前四者에 對해서는 特別 美國에 있어서 宇宙開發이나, 原子力 應用에 關聯해서 國家의 總力을 傾注해서 研究가 推進되어 目的을 充足하는 새로운 技術이 繼續해서 開發되어왔다.

또 그것들은 다시 通信機器, 測定機器, 交通機械, 加工機械, 建設機械等의 一般機器에도 應用이 되고, (5)~(8)의 分野에서도 널리 利用되고 있다.

潤滑油 없이 機械의 摺動部가 摩耗나 燒付를 일으키지 않는다면 理想的이라 하겠다. 그와 같은 條件의 實現을 위해서 固体潤滑이 여러가지로 開發되고 있다.

한편 固体潤滑의 短点으로는 (1) 流体潤滑보다 摩擦係수가 크다. (2) 固体接觸임으로 摩耗가 不可避하다, (3) 被膜으로 쓸 때에 壽命이 限定된다, (4) 冷却作用이 없다. (5) 被膜의 熱處理過程이 必要한 경우가 많다, (6) 理想的인 用法이 完全解明되어 있지 않다, (7) 最適條件의 範圍가 좁은 것等이다.

固体潤滑劑는 潤滑油나, 그리이스에 混合해서 效果를 發揮하는 경우도 있으며 潤滑油가 끊어졌을 때에 一定時間의 救濟策으로 固体潤滑

表 1. 固体潤滑劑의 種類와 特徵

	物質의 種類	特 徵
層狀結晶物質	(1) V族, VI族 遷移金屬 다이카르코게나이트 二黃化몰리브덴 (MoS ₂) 二黃化 텡그스텐 (WS ₂) 二세렌화 텡그스텐 (WSe ₂) 二세렌화 몰리브덴 (MoSe ₂) (2) 할로겐化合物 요드화카드뮴 (CdI ₂) 플루오르화흑鉛 (CF _x) _n (3) 其他 흑鉛 (C) 窒化硼素 (BN) 雲母類	眞空中에서 潤滑性 良好 大氣中 350℃ 까지, 眞空中 900℃ 까지 大氣中 450℃ 까지 電導性이 良好 Ag와 複合材料만들기 쉽다 티탄等の 潤滑에 白色, 물에 濕潤이 容易, 耐蝕性 大體로 眞空中 潤滑性 不良 電導性良好, 大氣中 600℃ 까지 耐酸化 良好, 附着性 不良 耐熱性 良好, 硬質, 潤滑性 不充分
金屬被膜	金 銀 鉛	大體로 구름軸受에 良好, 電導性 良好 大氣中보다 眞空中 良好 "
高溫軟化物	酸化납 (pbo) 플루오르화칼슘 (CaF ₂)	
高分子	PIFE 폴리이미드 프타로씨아닌	低溫에 適合, 물르고, 霧田氣依存性 적음 高分子系中에서는 耐熱性 良好

表 2. 固体潤滑劑의 使用法, 応用例

大 分 類	中 分 類	応 用 成 功 場 所
油類와의 分類 (長期適用容易, 汚染可能性)	潤滑油에의 懸濁 그리스에의 混入 페이스트(高濃度)	流体潤滑이 若干 困難한 滑動面等 滑動率이 큰 구름 軸受等 高温나사部, 組立作業等
乾燥被膜	有機樹脂結合(常温硬化)	나사部, 미끄름 摩擦部
耐荷重性優秀	有機樹脂結合(高温燒付)	耐荷重이 必要한 미끄름 摩擦部, 眞空部品
低摩擦	無機結合	熱間미끄름面, 구름 軸受
摩耗寿命限界있음	物理的 化學的 被覆處理	구름 軸受
複合材料	플라스틱系	低温, 輕荷重, 水中等에서의 摺動面
長期適用可, 淸淨,	金屬系	眞空部品, 耐熱性, 耐久性이 必要한 摺動部品
脆弱하여 補強必要	無機材料系	耐熱性이 必要한 摺動部品

劑를 含有하는 軸受를 써서 效果의인 경우도 있다.

現在 永久潤滑을 目的으로 쓰이는 固定潤滑劑 含有 軸受는 比較的 輕荷重의 것이 많으나, 將次 技術開發에 따라서 그의 應用範圍는 擴大되어 갈 것이 展望된다.

固体에 의한 潤滑을 長期的으로 繼續 可能하게 하기 위해서는 固体粉末을 潤滑油와 같이 豊富하게 供給을 繼續할 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 適切하게 選擇된 流体分散媒 또는 固体附看에 의한 供給法等이 開發되어야 한다. 또 乾燥狀態에서는 摩耗粉의 排出, 處理方法等도 研究해두지 않으면 安定使用의 繼續이 不可能하다.

固体에 의해서 潤滑機構가 可能하게 되기 위해서는 表面層이 下地材料에 比해서 물러야 하나, 固体의 硬度는 雰囲気와 溫度에 의해서 個性的으로 變化함으로 使用條件에 따라서는 潤滑機構가 作動하는 硬度比를 充足하지 못하게 되는 경우도 생긴다.

따라서 使用條件에 따라서 表層이 되는 材料 즉 固体潤滑劑를 選擇할 必要가 생긴다.

以上 固体潤滑劑의 原理와 應用에 關해서 살펴 보았거니와, 점차로 그의 作動機構가 解明되

어감에 따라서 應用範圍가 今後 크게 擴大될 것이 期待된다. 또 그렇게 되기 위해서는 現場과 研究室의 加一層의 協力이 切實히 要望된다.

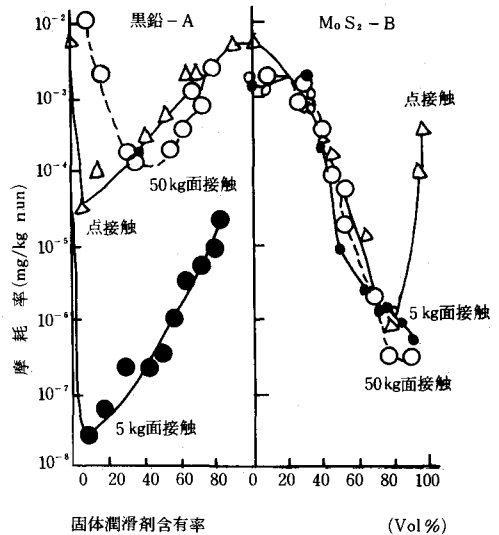


그림 15. 金屬基複合材料의 摩耗率에 미치는 固体潤滑劑의 含有量과 接觸條件의 影響