

## 트라이볼로지의 問題解決

姜 龍 植

중앙대학교

Tribos 라는 摩擦을 뜻하는 그리스어語를 語源으로 하는 tribology 는 摩擦의 科學이라고 直譯이 되겠다. 이 트라이볼로지의 概念을 潤滑 시스템에 導入함으로써 우리들은 問題指向의인 思考方式을 갖게 된다. 즉 지금까지의 潤滑技術자들은 一般的으로 潤滑만에 限定된 對策들을 생각하는 것이 通例이었으나, 이 트라이볼로지의 概念導入에 의해서 비로소 摩擦과 摩耗의 次元에서 潤滑問題를 다루게 되었고, 또 그것을 許容값 以下로 抑制하면서 物體를 移動시키는 最適의 方法이 무엇인가를 생각하게 되었다. 또 더 나아가서는 트라이볼로지의인 解決策을 생각하기에 앞서 設計者들은 設計變更에 의한 트라이볼로지의 諸問題의 排除可能性을 熟考하게 되었다. 즉 可動部를 되도록 적게 設計함으로써 트라이볼로지의인 問題들을 根源의으로 減少내지는 排除코져 試圖하게 되었다. 彈性值나 또는 可燒링을 往復運動에 使用함으로써 摺動面을 없애는 技術은 이미 實用化되고 있으며, 最近에 開發된 로우타리·엔진(wankel engine)도 그 代表的인 例라 하겠다.

그러나 技術者들의 수많은 勞力과 關心에도 不拘하고 아직껏 많은 트라이볼로지의 接觸問題가 未解決狀態로 남아있는 實情이며, 따라서 여기에서는 그것들에 대한 트라이볼로지의 解決法의 觀點에서 살펴보기로 한다. 또 實際에 있어서 많은 그러한 問題들은 大氣壓의 環境下에서 이루어지고 있으나, 경우에 따라서는 高度 真空, 核反應爐, 또는 特定化學플랜트에서와 같이 酸化膜의 自生이 없는 所謂 苛酷한 環境下에서의 트라이볼로지인 特殊問題에도 부딪히는 경우가 있다.

### 1. 荷重과 速度

그림 1에서 보듯이 크게 나누어서 荷重은 4種, 速度는 기어의 齒面間의 구름과 미끄럼의 結合效果도 넣으면 8種, 그리고 荷重과 速度의 모든 結合패턴을 합치면 32種의 組合의 可能性이 생각된다. 즉 荷重과 速度의 2

개 變數만으로도 폭넓게 트라이볼로지의 狀況이 이루어질 수가 있음을 알게 되는 것이다.

荷重과 速度가 一定한 定常狀態에 대해서 생각해 보아도 特히 개개 粒子의 接觸履歷의 重要性을 고려하면 荷重과 速度變化의 影響을 外挿法에 의해서 推測할 수가 있다.

크기가 一定하고 方向이  $\pm \alpha$ 의 範圍에서 振動하는 荷重에 의해서 그림 2에 나타낸 것과 같은 壓力分布를 發生하는 저어널·베어링을 생각하면, 軸上的 粒子①과 하우징上的 粒子②의 應力履歷은 아래쪽 그림과 같이 되어서 確實히  $\alpha$  값에 依存함을 나타낸다. 이때에 全體의 效果는 軸과 하우징上 粒子의 接觸履歷의 總合이기 때문에 그와 같은 圖式에는 荷重 또는 速度 어느 것의 變化에 대해서도 敏感하다. 事實 圖示한 경우에 있어서는 하우징上的 粒子는 荷重方向의 變化에 의해서 接觸應力이 減少하게 되어서 그것이 變하지 않는 경우에 比해서 摩擦이나, 熱效果가 減少한다. 따라서 그러한 考察에 立脚하면 連結軸·베어링의 作動條件은 方向과 荷重이 一定한 베어링보다는 苛酷하지가 않을 것임을 알 수가 있다.

트라이볼로지의 接觸에서 일어날 수 있는 荷重과 速度의 限界에 대해서 생각해 보면, 荷重 - 速度 限界線이 特히 重要하며, 實際로 境界位置는 最大許容應力, 溫度 및 摩耗率 等の 諸因子에 의해서 決定이 된다. 그림 3에서 實際의 限界線의 모양을 나타내며, 또 變數의 자리수 範圍를 나타내기 위하여 荷重과 速度를 각각 對數 - 對數 그래프에 表示하고 있다.

#### 強度(그림 3a)

接觸部 形狀과 使用材料의 種類에 따라서 接觸域에 加할 수 있는 最大荷重이 決定된다. 圓筒이나 球面의 接觸인 경우에는 從來의 理論에 의해서 쉽게 安定作動 荷重을 算定할 수가 있으며, 그것들과 다른 形狀의 것의 接觸에 대해서도 簡單한 計算에 의해서 解答을 求할 수가 있다.

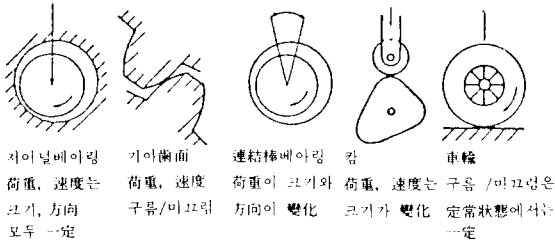
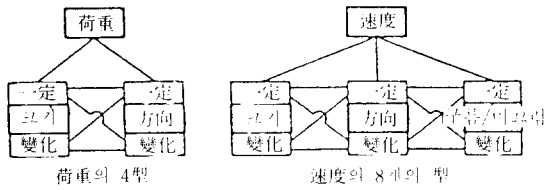


그림 1. 荷重과 速度의 變化的形態

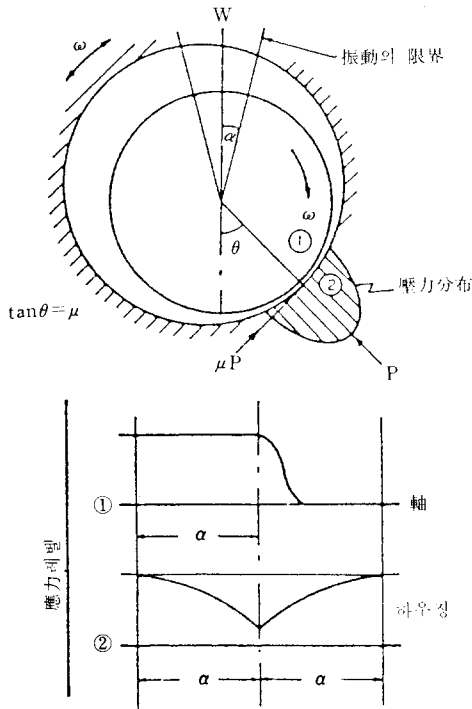


그림 2. 振動하는 一定한 垂直荷重 : 軸과 同速度로 振動하는 경우

慣性特性 (그림 3b)

모든 트라이볼로지의 接觸을 하는 構成部는 運轉中에는 慣性에 의해서 생기는 應力을 받게 됨으로, 그 應力에 의해서 破損이 일어나는 最大速度를 定할 수가 있다. 즉 그 限界에 관한 簡單한 例로서는 高速廻轉時에 생기는 遠心應力에 의해서 破壞되는 廻轉軸을 들 수가 있겠다. 보다 機構가 複雜한 구름 베어링의 경우에

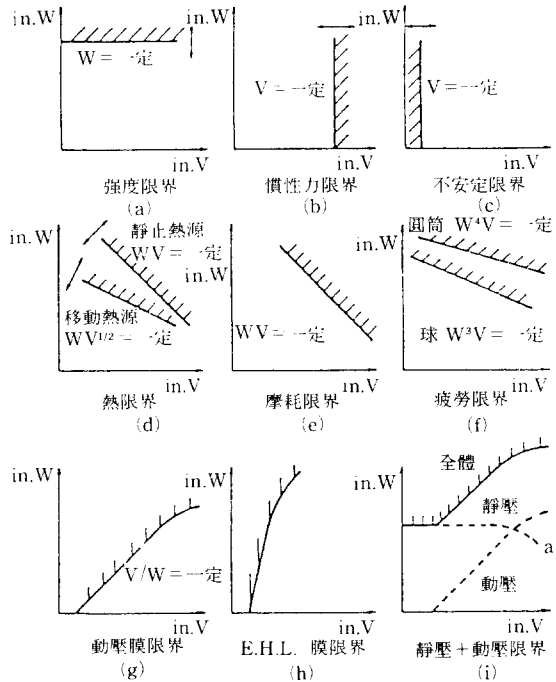


그림 3. 性能을 左右하는 荷重과 速度의 限界

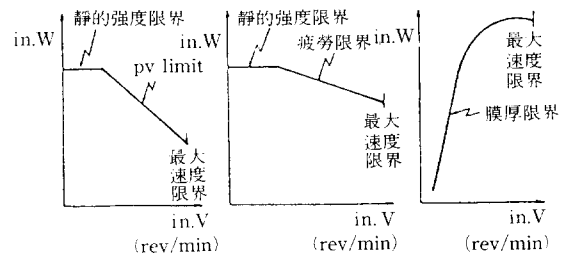


그림 4. 3種類의 저어널 베어링에 대한 限界

는 最大速度는 遠心力과 자이로效果에 의해서 決定이 되며, 最大速度以上이 되면 作動不良이 되거나 또는 支持機具 等の 破損에 의해서 故障이 發生하게 된다.

摩擦不安定性 (그림 3c)

作動速度가 대단히 느리게 되면 어떤 種類의 트라이볼로지의 裝置에 있어서는 不安定性을 나타내게 되며, 그와 같은 系의 運轉에 대해서 設計者는 充分히 그와 같은 底速度에서도 作動이 可能하도록 適當한 措處를 取하거나 運轉을 制限할 必要가 있다.

熱源 (그림 3d)

摩擦에 의해서 생기는 熱은 서로 接觸하고 있는 物體 즉 移動物體와 靜止物體의 양쪽에 分布되게 마련이다.

또 그 兩物體의 最高許容溫度에 의해서 決定되는 熱的限界는 그림 3d와 같이 된다.

**摩耗限界(그림 3e)**

凝着摩耗나 이브레이시브摩耗와 같은 여러가지 種類의 摩耗는 荷重과 速度의 곱으로 表示가 可能하며, 따라서 그 摩耗값을 決定하는 限界는 그림 3e와 같이 되어서 壓力과 速度의 곱 즉 P-V 값으로 흔히 定義가 된다. 여기서 壓力은 單位面積當의 荷重, 즉 荷重이 作用하는 面積과 關聯지워지기 때문에 荷重보다 有用한 設計 파라미터가 된다.

**疲勞限界(그림 3f)**

구름接觸 베어링과 같은 경우의 疲勞限界는 故障과 密接하게 關聯된다. 그와 같은 베어링의 疲勞는 應力の 크기와 荷重의 周期에 의해서 定해진다. 實際 試驗에 따르면 荷重 W와 廻轉壽命 L과의 關係는 볼·베어링의 경우에는  $W^3L$ , 圓筒·베어링의 경우에는  $W^4L$ 로 表示가 되며, 또 L은 明白히 速度 V와 關係가 있음으로 볼·베어링의 경우에는 疲勞限界를  $W^3L=const.$ 로 定義할 수가 있어서 그림 3f와 같이 된다.

**動壓膜(그림 3g)**

動壓作用에 의한 壓力에 의해서 荷重이 지탱되는 경우에는 油膜두께는  $nV/W$ 의 函數로서 表示가 되며, 이와 같은 경우의 作動限界는 適切한 潤滑油를 썼을 때에 주어지는 速度로 荷重을 지탱하는데에 要求되는 連續膜의 存否에 의해서 決定이 된다. 따라서  $V/W=const.$ 의 線에 의해서 그 系의 作動限界가 定義가 된다. 미끄럼 速度가 커지면 粘性剪斷에 의해서 發生하는 熱도 많아져서 기름의 粘度는 낮아진다. 그 때문에 그림 3g에서와 같이 境界線이 直線으로부터 多少 기울어지게 된다.

**彈性流體膜(그림 3h)**

彈性流體膜은 純粹한 動壓膜보다는 荷重에 대한 依存性이 적기 때문에, 그림 3h에 나타난 것과 같은 膜形成限界가 된다.

**靜壓膜(그림 3i)**

外部의 加壓供給源을 씌우므로서 負荷能이 있는 流體膜을 만들 수가 있으며, 이때 그의 最大負荷容量은 實效外部壓力에 의해서 決定이 된다. 따라서 그림 3i의 a線과 같은 限界特性이 얻어지게 된다. 高速域에서 靜壓負荷容量이 若干 減少하는 것은 摩擦熱에 의해서 기름의 粘度低下가 일어나기 때문이다. 그와 같은 베어링에 있어서는 高速域에서 動壓效果에 의해서 負荷容量이 增加하고 또 靜壓效果와 動壓效果의 合인 全體負荷容量도 그림 3i에서와 같이 늘게 된다.

**2. 저어널·베어링의 選擇**

널리 쓰이고 있는 3種類의 베어링인 動壓·베어링, 볼·베어링 그리고 PTFE 콤파운드 使用의 無潤滑 미끄럼·베어링에 대해서 考察하기 위해 그림 3에 나타난 結果를 基礎로 해보면, 그들 베어링의 基本特性은 그림 4와 같이 된다.

이들의 限界를 주어진 軸徑에 의해서 하나씩 計算을 해가면 工學的 應用에 必要한 모든 範圍에 걸친 그림 5와 같은 荷重-速度의 線圖特性을 求할 수가 있다.

그림에서 보듯이 直徑이 작은 베어링에서 1~2,000

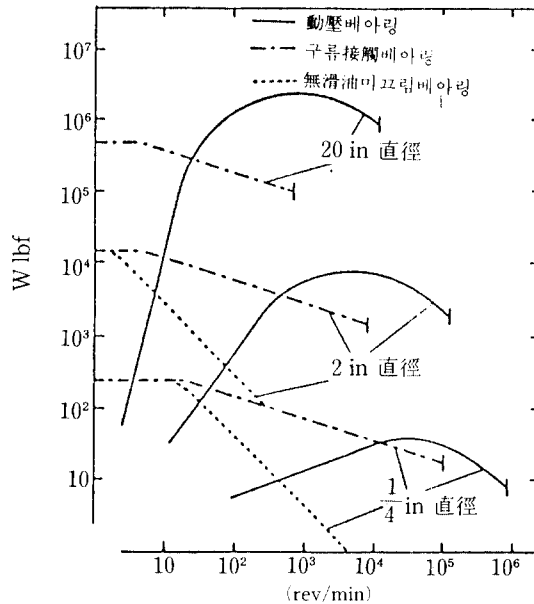


그림 5. 3種類의 베어링의 比較

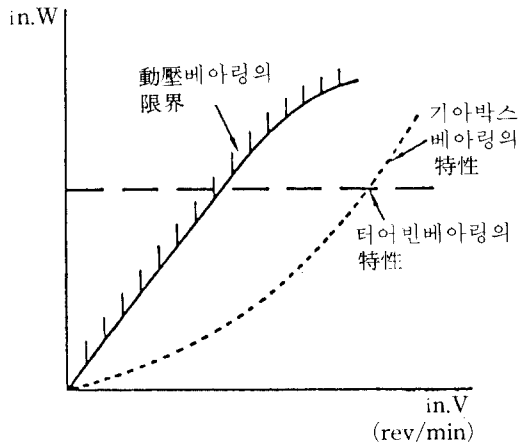


그림 6.

rev/min의 廻轉速度에서는 볼·베어링의 負荷容量이 다른 種類의 그것보다 큰 것을 알 수가 있으며, 그것이 그와 같은 條件인, 예컨대 小型 電氣 모우터 등에서 볼·베어링이 많이 쓰이고 있는 理由가 되고 있다. 또 그와 같은 廻轉速度에서, 큰 直徑의 軸에서는 動壓·베어링의 負荷容量은 다른 것에 比해서 큰 것을 알 수가 있으며, 그것이 大型의 蒸氣 터어빈 등에 動壓·베어링이 많이 利用되는 理由가 된다. 그러한 경우에 裝置의 始動, 停止 때와 같이 低速域에 있게 되면, 金屬接觸을 避하기 위해서 보통 補助的인 靜壓·베어링을 使用한다.

### 3. 트라이볼로지의 解決策

개개의 問題에 대해서 選定된 트라이볼로지의 解決策은, 그 問題들에 대해서 各各 適合한지의 如否를 調査할 必要가 있다. 大型 기아박스의 베어링에 있어서의 荷重-速度特性은 그림 6과 같이 되어서 動壓·베어링이 適合성이 좋은 것을 알 수가 있다. 또 蒸氣 터어빈에서는 荷重在 모든 速度에서 一定함으로 靜壓·베어링이 가장

適合함을 알 수가 있다.

以上을 綜合해보건대 設計者는 트라이볼로지의인 解決策에 留意해서 負荷, 速度, 環境特性 또는 摩擦과 摩耗에 關한 制約條件들을 檢討해서 주어진 設計問題의 最適解를 求해야 하며, 또 設計思想을 完全히 變更함으로서 製作機械의 要求任樣을 바꾸지 않고서도 트라이볼로지의인 問題를 解決내지는 改善할 수가 있겠다.

### 參考文獻

1. M.J. Neale, Tribology Handbook, Butterworth, London (1973).
2. M.J. Neale and A.B. Crease, Rubbing bearings for aircraft, a survey of applications, materials and needs, M.O.D. Report P.E.S. and T.M. July, 1972.
3. Engineering Science Data, Item 68018, 66023, 65007, 67033, Instn. Mech. Engrs.
4. J. Halling, The roll of the Wheel, *Wear*, **24**, 53 (1973).
5. Lubrication (Tribology) Education and Research, D.E.S. Report (1966), H.M.S.O.