윤활동향

Mechatronics Tribology의 世界

圓光大學校 · 工科大學
機械工學科 李奉九 教授

—目 次—

1. 總論
2. 磁氣 disc의 Tribology
3. 磁氣 tape의 Tribology
4. Printer의 Tribology
5. 產業用 robot의 Tribology
6. Mechatronics Tribology의 중요한 機械要素
7. Mechatronics와 潤滑油
8. 展望

1. 總 論

최근에 들어서 Robot를 대표로 하는 Mechatronics 機器가 각광을 받고 있다. 메카트로닉스의 定義는 지능(intelligence)을 갖춘 기계 또는 장치라고 말할 수 있다. 즉 機械와 小頭腦(micro processor)가 결합된 것으로써, 현재 위에서 말한 로보트를 위시해서 磁氣디스크, 磁氣테이프, 컴퓨터의 주변기기인 프린터, 그리고 ATM (Automated Tellers Machine)등 많은 것이 나와 있으며 또한 이들을 종합적으로 이용한 기계가 상당수 쓰여지고 있으며 앞으로도 계속해서 출현할 것이다.

메카트로닉스의 Tribology에 대해서는 이것을 이루고 있는 기계의 Tribology와 크게 다른것은 없다. 즉 기계의 구성 요소에 대한 摩擦·摩耗와 潤滑을 취급하나, 다만 micro processor에 손상이 가지 않는 부분을 고려하면 된다. 그러나 여기에서 하나 언급하고 싶은 점은 메카트로닉스를 구성하는 Mechanics와 electronics 중에서 electronics面만 강조하고 동작의 主体가 되는 Mechanics面을 等閑時 해서는 안된다는 것이다. 특히 bearing, gear beet등의 機械要素및 oil이나 grease등을 그 重大함에 비하여 가벼웁게 취급되고 있다는 점이다. 예를들면 대형발전기의 베어링에 대해서는 타붙음(燒付)의 중대한 문제가 있기 때문에 윤활전문가의 충분한 검토를 토대로한 설계를 하는것이 常例로 되어 있으나 메카트로닉스 제품에서는 소음이 난다거나 때때로 기계가 정지하는 경우에만 일시적으로 취급되는 일이 많다. 그러다가 중대한 사고에 직면하게 되는 것이다. 또한 Tribology 문제때문에 磁氣디스크에 실린 情報가 消滅되는, 예를들어 은행의 예금통장의 숫자가 없어진다고 상상한다면 사회불안같은 문제를 가져올 수도 있다.

또 한편으로 이러한 기억장치외에도 메카트로닉 機器의 수명과 Tribology 관계는 아주 중요

하다. 기계가 수명을 다 한다라는것은 자기 機能을 다하지 못한다는 것으로서 이것은 摩耗와 관련이 있다. 活動部가 닳아서 덜거덕거리면 정확한 전달을 하지 못하는 것이다. 메카트로닉스機器는 구조가 복잡하고 높은 精度를 요구하는것이 많기 때문에 특히 摩耗의 문제는 중요하다. 하나의 기계를 제작하기 위해서는 많은 노력이 필요한데, 이러한 기계의 수명을 늘리는것은 省資源, 省에너지의 입장으로 볼때 극히 중요하다.

한편 摩耗가 생기지않더라도 摩擦때문에 충분한 精度가 얻어지지 않는 예도 많다. 예를들면 로보트의 팔(arm)은 減速機를 통해서 모터로 구동되며 그때, 만약 도중에서 摩擦이 크게되면 傳動軸 비틀림 變形을 일으켜 팔의 충분한 精度로 동작시키기는 불가능하게된다. 이와같은 경우에도 Tribology가 중요한 문제가 되는 것이다. gear를 사용하는 경우에는 齒面과 齒面의 미끄럼摩擦이 意外로 크다는 것에 주의해야 하며 이 때문에 최근에는 direct drive 방식이 환영받는 경향이다. 또 自動包裝機械 등 각종 자동기계는 기구가 극히 복잡하다 이와같은 경우에도 각부의 摩擦을 작게하는것이 省에너지, 또는 원활한 운전에 不可決한것은 물론이려니와 각부의 摩耗를 줄이는것이 수명을 연장하는 필수요건이다. 사실 이러한 종류의 기계의 maintanence는 대부분 Tribological한 문제이며, 최근 중요성이 지적되고있는 保全工學의 큰 부분은 역시 Tribology的 문제인것이다. 또한 최근들어 집에서 많이 사용되는 최신의 메카트로닉스機器는 bearing部 등으로부터 흘러나오는 潤滑劑로인한 오염문제가 있어 이것을 방지하기위한 seal도 또한 큰 문제이다. 이것도 Tribology의 중요한 테마의 하나이다.

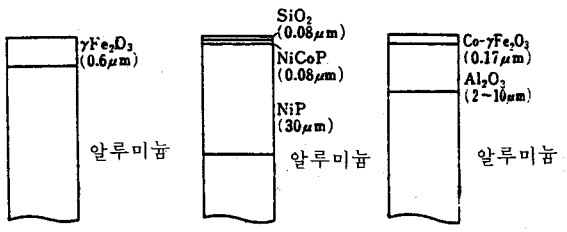
이상에서 말한것과 같이 메카트로닉스 분야에 있어서도 Tribology는 극히 중요한 것이다. 즉 기계의 요소 요소가 전부 Tribological한 문제인 것이다. Tribology에 관한 바른 이해가 없는 기계의 설계나 운전이 불가능하며, 더욱 메카트로닉스 機器는그와같은 기계의 典型的인것이라고 강조하고 싶다. 따라서 여기에서 중요한 몇가지의 메카트로닉스 機器의 Tribology에 대하여 概略的으로 기술하고 그의 전망에 대하여 쓴다.

2. 磁氣 disc의 Tribology

磁氣디스크장치는 회전하는 磁氣디스크위에 氣体베어링의 원리에 의해 磁氣 head (浮動헤드)를 浮動시켜 이것을 所定의 半徑位置에 위치를 결정하여 情報의 기록 재생을 行하는 것이다. 그의 주요 성능은 面記錄密度와 악세스時間(위치결정에 걸리는 시간)과의 평가이다. 이들 성능을 향상시키기 위해서는 헤드浮上間隙의 微小化, 헤드 위치결정과 디스크회전의 高精變化가 어느정도 submicron의 次元이 되게 하느냐가 중요한 일이라 하겠다. 여기에는 磁氣디스크, 磁氣헤드의 Tribology를 중심으로한 Positioner나 Spindle에 사용되고 있는 구름베어링을 포함해서 高精度, 高信賴의 상대운동의 실현이 중요한 포인트가 된다.

먼저 磁氣디스크의 구성은 알루미늄合金의 基板위에 磁性層을 두는데 여기에는 그림과 같이 磁性材로 $\gamma - Fe_2O_3$의 針狀微粒子와 補强材로써 알루미나粒子와 binder로써 樹脂를 혼합하여 基板에 塗布한후 燒成・polishing을한 塗布媒体가 일반적이나 최근에는 磁性層이 磁性材만으로 구성된 鍍金媒体, 스퍼터媒体인 連続薄膜媒体가 高記錄密度用으로 사용되고 있다.

浮動헤드에는 ferrite slider型과 ceramic slider型이있는데 디스크面上에 수십~백수십 mN로 押庄시켜 起動・停止時에는 접촉된채로 走行하는 CSS (contact start stop)형식이므로 이때 耐摩耗性, 浮上時의 디스크面과의 접촉시의 安定性과 낮은 面庄으로 높은 空氣膜剛性・減衰係数를 얻는것이 설계상 과제이다. 최근에는 접촉헤드의 面을 双



(a) 塗布媒体 (b) 鍍金媒体 (c) 스퍼터媒体

그림. 각종 媒体의 구성 예[1]

胴形으로 0.2μm까지 浮上間隙의 微小化를 가져오는것도 있다.[2]

磁氣디스크와 헤드의 摩擦特性은 媒体의 성질에 따라 다르다. 塗布媒体인 경우에는 耐久性을 높이기위해 混入한 알루미나微粒子의 영향을 받는다. 알루미나量의 증가와 더불어 Abrasive 摩耗가 일어난다. 알루미나粒子는 데이터결함이나 noise, 浮上安定性을 해치는 突起의 원인이 되므로 적을수록 좋으나 耐久性문제를 고려해서 보통 4~7%가 적당하다. 連続薄膜媒体의 경우는 磁性層이 0.1μm 정도로 극히 얇기때문에 面精度와 硬度는 基板의 영향을 크게 받아 基板과의 密着强度·基板硬度 등이 耐久性의 제한요인이된다. 따라서 이들의 摩擦特性에 대해서는 아직 잘 알려지지 않고 있다.

磁氣디스크 表面에는 耐摩耗性을 높이기 위하여 潤滑劑가 사용된다. 그의 두께는 수십~수백Å으로 아주 얇으며 塗布媒体인 경우에는 carbon系의 액체윤활제가 사용되며, 連続薄膜媒体에는 吸着性을 고려해서 carbon 薄膜, 高分子固体潤滑劑, 極性基를 갖는 弗素系의 界面活性劑등이 검토되어 일부는 사용되고 있다.[3]

이들의 摩擦特性을 알기위해서는 潤滑모델과 浮上間隙의 크기 등이 크게 문제가 된다. 우선 潤滑모델은 起動停止時에 混合狀態가되므로 混合潤滑모델로 보아야 된다. 그렇게 보고 그때의 動圧力을 레이놀즈방정식에 의해 계산하여 實効接觸荷重을 구한다. 실험의 예에 의하면[4] 押圧力 60 mN이 되면 CSS中에도 심한 摩耗領域을 통과하는 일이 없고, 耐摩耗性도 향상된다. 浮上間隙의 크기가 分子平均自由行程λ(大氣圧 空氣에서는 $\lambda_a = 0.064\mu m$)와 같은 정도로 微小化하면 이론상 修正레이놀즈방정식의 적용이 가능하게 된다.

또한 磁氣디스크의 摩擦特性에 큰 영향을 미치는 것이 베어링이다. 여기에는 Swing positioner의 搖動베어링과 spindle 베어링이 있는데 이들의 精度를 높이는 것이 무엇보다도 중요하다. swing Positioner는 先端의 磁氣헤드를 고정시킨 arm을 베어링을 支点으로 요동시켜 헤드의 위치를 결정하는것이다. 따라서 베어링의 剛性과 減衰係数가 문제시 된다. 여기에는 grease가 큰 역할을 하나 현재로서는 거기에 대한 데이터가 부족한 상태이다. 또 spindle 베어링은 submicron의 위치 결정의 精度를 실현하기 위한 것으로 높은 回轉精度가 필요하다. 최근에는 칫수精度나 靜的振動을 첨가한 振動의 level이 周波数에 대응하게 규정된 超精密베어링이 사용되고 있다.

3. 磁氣 tape의 Tribology

磁氣테이프는 信号를 기록하는 磁性層과 그의 支持体인 base로 구성되어있다. 따라서 磁氣테이프의 Tribology는 磁性層의 摩耗가 문제이다. 즉 磁性層의 摩耗는 信号를 기록한 磁性体가 탈락되어 情報가 消失되거나, 信号誤差를 일으키는 것이다. 그렇기 때문에 耐摩耗性을 어떻게 향상시키냐가 포인트가 되며 아울러 耐久性을 증진시키는 材料의 연구가 중요하다. 또한 베이스의 摩耗도 信号誤差의 원인이 되므로 材質改善의 연구가 필요하다. 그러나 시판되고 있는 磁氣테이프는 메이커에 따라 복잡한 材料組成이 되어 있어 기술하기에 어려움이 많기 때문에 여기서는 많이 쓰이는 情報交換用에 한정하여 기술한다.

情報交換用磁氣 테이프의 베이스는 주로 폴리에칠렌 系로써 두께가 약36μm정도이며, 磁性層은 $\gamma - Fe_2O_3$粉으로 두께 약 10μm 정도로써 바인더로 결합시키며 여기에 磁性粉의 分散을 좋게 하기 위하여 界面活性劑, 帶電防止劑, 潤滑劑등이 첨가된다. 이중에서 耐摩耗性을 지배하고 있는 것은 바인더와 潤滑劑이다. 바인더로써는 우레탄, 塩化비닐등의 樹脂가 사용된다. 따라서 이들 樹脂를 어떻게 組合해서 사용하느냐에 따라 耐久性의 문제가 달라질 수 있여 각 메이커들의 독자적인 know how로 되어 있다. 潤滑劑에 대해서는 앞절의 磁氣디스크와 같으나 이것도 바인더와 같은 양상이나 따라서 耐久性과 材料組成의 관계 즉 바인더의 組成—磁性層의 機械的特性—耐摩耗性의 관계에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그중 하나의 예[5]를 들면 樹脂의 混合比는 磁性層의 柔軟性과 밀접한 관계가 있으며, 이는 耐久性으로 이어지고, 또한 耐摩耗性하고도 관계가 된다는 것으로, 우레탄 樹脂의 함유량이 많을수록 柔軟性이 증가한다는 것이다. 또 磁氣테이프에 관한 摩擦摩耗試驗의 결과와 磁性層의 柔軟性과의 관계는 柔軟性(破斷伸張)이 큰 磁性層은 摩擦係数(μk)가 작다. 즉 耐摩耗性이 우수

하다는 것이다. 결국 耐摩耗性이 우수한 磁性層은 軟해서 破斷伸張도 크기 때문에 柔軟性이 커진다는 것이다.

한편 耐久性에 대해서는, 高密度記錄을 하기 위하여 薄膜磁氣테이프가 注目되는데 이것은 磁性層으로써 磁性金屬을 蒸着시켜 그의 두께를 0.1μm 정도로 하는데 磁性層이 金屬이므로 그대로는 耐久性에 문제가 있어 이를 해결하기 위하여 保護膜을 형성해야 할 필요가 있다. 이 保護膜은 성질상 柔軟하고 두께도 submicron 이하로되어야하기 때문에 形成이 어려웁다. 여기에도 많은 방법의 연구가 있으나 프라스마重合法이 有力하게 쓰이고 있다. 여기에 그중 하나의 槪要만을 소개한다.

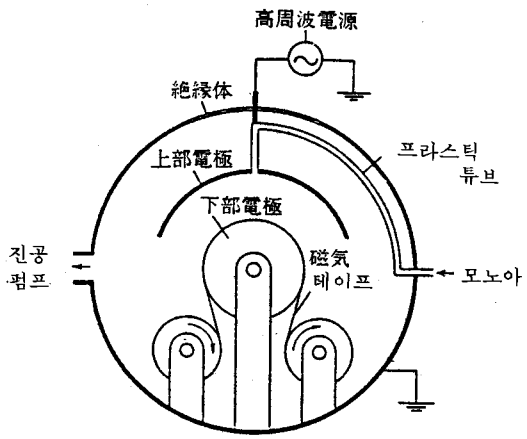


그림 6.

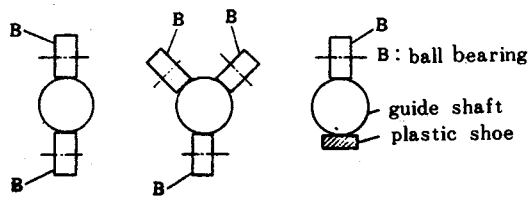
결국 磁氣테이프의 耐摩耗性은 磁氣테이프의 재료, 구조, 磁氣헤드의 材料와 형상, 磁氣테이프의 走行機構등에 의존된다. 磁氣테이프는 녹음·녹화·정보교환용이 있으며 그것들은 각각 摩擦條件이 다르다. 따라서 磁氣테이프의 耐摩耗性의 조건은 磁氣테이프의 종류에 따라 다르나 일반적으로 볼 때 磁性層의 복잡한 材料組成에 달려 있다고 본다. 따라서 앞으로 이 방면으로 연구가 진행되어야 되겠다.

4. Printer의 Tribology

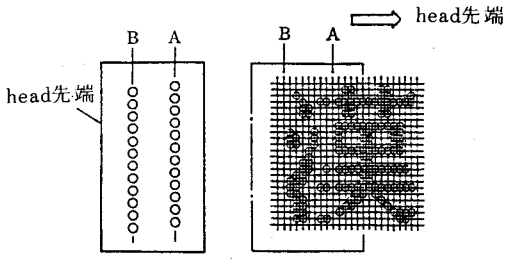
Printer는 데이터通信, 메시지通信 혹은 컴퓨터에 의해서 처리된 情報의 出力을 처리하는 機器의 일종으로써 최근들어 급격히 생산량이 증가 되고 있다. 프린터는 접속하고 있는 시스템의 高性能化에 따라 극히 높은 條件을 요구하게 되었으며 그것은 高速処理, 高信賴性, 低価格, 低騷音, 쉬운操作性, 小型輕量, 保守性, 汎用性, 美觀性의 향상이라 할 수 있다. 이러한 조건을 만족하기 위해서는 여러가지가 있겠으나 그중에서도 중요한 것이 Tribological한 문제점이나 장애라고 생각한다. 이런 점을 해결하므로써 보다 좋은 제품이 기대될 수 있다.

프린터는 크게 印字方式에서 볼때 기계적인 衝擊力에 의한 Impact式과 그렇지 않은 nonimpact式이 있는데 Impact式 중에서는 대표적인 것이 Serial式이다. 이것의 tribology的인 문제에는 우선 印子機構를 좌우로 이송시키는 기구에서의 摩擦과 摩耗의 문제이다. 이 carrige의 이동속도는 最高速인 경우에는 1.5 m／sec정도 이상이므로 guide shaft와 그것을 slide하는 베어링 사이의 摩擦係数가 대단히 중요한 因子가 된다. 또 印字 wire의 구동 stroke는 0.5㎜ 이하로 대단히 작기 때문에 bearing과 shaft의 끼움이 적당하지 않으면 印字된 문자의 품질이 나쁘게 된다. 따라서 摩擦을 줄이고 slide의 smooth한 동작이 중요한 포인트가 된다. 따라서 다음과 같은 bearing이 고려되고 있다.

① 四弗化 에칠렌 樹脂製 베어링
② 폴리이미드系 樹脂製 베어링
③ 燒結含油 베어링(青銅系, 鐵系)
④ 기타 플라스틱製 베어링
⑤ 보올베어링 組合形[7]



또하나 Tribology 面에서 중요한것은 印字헤드이다. 이 印字헤드는 印字 wire 를 內臟하고 좌우로 이동하며 電子的으로 制御되어 印字해야할 문자의 matrix 상태로 되어있는 印字 wire 가 適時突出되어 문자를 형성한다. 그림에 이 文字形成法을 나타낸다. 따라서 印字헤드의 수명은 이 印字 wire 와 그것을 안내하는 wire guid 部의 摩擦과 摩耗이다.



따라서 印字 wrie 의 재료는 耐摩耗性이 우수한 것이 요구된다. 여기에 비교적 많이 사용되고 있는 재료로는 텅스텐 超硬合金, 하이스鋼(高速度鋼)등이 쓰이나, 사용상 장·단점이 있어 아주 만족 할 만한 것은 없는 형편이므로 더욱 연구할 필요가 있다. 先端 wire guide 는 印字 wrie 보다 0.02㎜정도의 큰 구멍으로써 이 guide 의 재질과 구멍의 단면형상은 印字 wrie 의 摩耗에 큰 영향을 주는 동시에 자신의 摩耗時에는 印字 wire 의 配列이 나빠지기 때문에 문자의 품질이 악화될 수 있으므로 중대한 문제이다. 이의 材質로는 루비, 세라믹스(아루미나), 感光性유리, 플라스틱 등이 쓰인다.

다음으로 nonimpact 식 프린터의 대표적인 고속 프린터로는 laser print 가 있다. 컴퓨터의 高速化, 高機能化에 따라 처리 해야할 印字速度가 10000行／min 정도의 超高速이 되어야 하므로 이 프린터의 主機能을 하는 多面鏡(polygon mirror)의 회전속도도 엄청나게 된다. 따라서 이 polygon mirror 를 회전시키는 모우터의 베어링이 중요한 포인트가 되는데 여기에 사용되는 베어링으로는 구름 베어링과 air bearing 이 있지만 아주 고속인 경우에는 air bearing 이 쓰인다. 또 動庄空氣 베어링과 磁氣베어링과를 並用해서 42000회전／min 을 가능케한 경우도 있다.

5. 産業用 robot의 Tribology

로보트는 1954년 G. C. DEVoL 의 특허[8] 出願에 의해 반복작업을 하는 汎用性을 갖는 "universal automation"의 개념이 발표된 以來 많은 발전을 거듭해 오고 있다. 용도에 있어서도 組立用을 비롯해서 自動車用 溶接로보트, 合成樹脂成形加工用로보트, 金属製品, 金属加工, 精密機械用등으로 쓰여지고 있으며, 특히 제품의 高級化 내지 FA (工場自動化)에 따라서 급격한 수요의 요구에 충족하기 위하여 생산량도 급격한 증가를 보이고 있다.

또 산업용 로보트는 人力情報, 教示方法, 動作形態 등으로 부터 분류될 수 있는데 최근 10년 사이의 변화로서는 playback, 数値制御, 知能로보트등 機能이 높은 로보트의 비율이 증대되고 있다.

산업용로보트의 구조는 크게 制御部, 機構部, 周邊機器, 기타 등으로 되어 있으며 이중 機構部가 Tribological 한 문제이다. 즉 동력을 전달하는 부분인 chain, gear, hall screw, bearing 등으로 제어부와 같은 큰 비중을 차지하고 있지는 않지만 고장면에서 본다면 아주 중요한 비중을 차지하고 있다. 따라서 事前에 반드시 Tribology 문제를 고려해야한다. 여기서 潤滑과 保守方法에 대해서 살펴보면 다음 page의 表와같다.

潤滑에 해당되는 부분으로는 驅動機의 베어링과 brush, harmonic 減速機, ball screw, chain sprocket 및 ball bearing 과 gear 를 지지하는 각부의 bearing 등이다. 이들 각각의 潤滑은 保守가 간편한 grease 가 主体로써 ball screw, chain, harmonic 減速機를 구성하는 타원 bearing 에는 流動性이 좋은 耐庄 gvease, harmonic 減速機 및 hand 의 gear 機構에는 약간 단단한 耐庄性 grease 를, chain 의 pin bush 部에는 耐庄性 oil 을 並用하고 있다. 기타 각 부 beaiing 은 wide range grease 를 封入한 bearing 이 사용된다. 그러나 문제는 高速化나 長壽命化에 따른 高精度의 유지가 중요하다. 이러한 精度를 보장하기 위해서는 chain, gear, ball screw 등의 정기적인 保守를 하는 것이 潤滑技術上의 문제점이라고 말할 수 있다. 또 로보트의 輕量化나駆動源의 power up, 制御性의 향상등에 따라 高速으로 活動될 수 있는

表. 機構部品의 潤滑과 保守方法[9]

機構部品	潤滑	點檢間隔	點檢·處理內容
harmonic ●齒車	耐圧grease	旋回軸3年(9000時間)	○각종 Spline crank등의 齒의 摩耗, crank등의
減速機 ●楕圓베어링	流動性耐圧 grease	上下腕傾動軸1年(3000時間)	점검과 給油
chain ●chain spraket ●pin·bush	流動性耐圧 grease 耐圧oil	6개월(1,500시간)	○摩耗·傷의 체크와 給油 ○張力의 調整
hand部의齒車	耐圧grease	3개월(750시간) 6개월(1500時間)	○形의 체크 ○給油
ball screw	耐圧 grese	6개월(1500時間)	○異常音의 체크 転送面의 傷, pitting등의 點檢과 給油
胴旋回用薄肉베어링	流動性耐圧 grease	—	—
各部의 베어링	widerange grease	1年(3000時間)	○各部베어링 形의 체크
brush	—	旋回軸 3年(9000時間) 기타 1年(3000時間)	○brush의 點檢혹은交換

潤滑機構, 반복동작에 대한 精度를 유지할 수 있는 耐摩耗性이나 信賴性이 요구된다. 또 특수환경에 대한 實用性의 문제도 潤滑技術의 한 분야이다.

6. Mechatronics Tribology의 중요한 機械要素

Mechatronics란 앞에서 기술한 것과 같이 機電시스템으로서 산업의 高度化에 따른 自動化, 精密化가 필수적이므로 보다 많은 영역을 차지하게 된다. 따라서 지금까지 열거한 외에도 많은 것이 있다. 그러나 이들은 Tribological한 문제를 일으키는 중요한 몇가지의 機械要素로 이루어져있다. 다음에는 그중에서 중요한 구름베어링, 燒結含油베어링, 氣体베어링, 플라스틱 gear와 베어링에 대하여 간단히 기술한다.

먼저 구름베어링을 사용하고 있는 메카트로닉스의 대표적인 것으로는 航空機나 로케트의 慣性誘導航法에 쓰이는 쟈이로, 컴퓨터의 大容量外部記憶裝置의 固定磁氣디스크장치, 레저비임, VTR의 回轉헤드, 프린터의 폴리곤밀러스캬너(Polygon mirror Scaner), 로타리·엔코우더(rotary encoder), 로보트등 많이 쓰이고 있다.

메카트로닉스에서는 可動部分의 實効質量을 감소시켜 高速運動을 하기 위해서는 小形, 輕量化가 요구된다. 그리고 動力機械와같이 큰荷重을 負荷, 傳達할 필요가 없기 때문에 주로 ball bearing이 사용된다. 또 同一內徑이라면 外徑및 幅이 작은 것이 사용된다. 또 部品点数, 組立, 調整의 工程을 줄이기 위해, 또 精度를 향상시키기 위하여 內輪 또는 外輪을 軸 또는 하우징과 一体化되는 Integral bearing도 사용되어 지고 있다. 精度面에서는 높은 回轉精度가 요구되고 있다. 특히 實用回轉速度에서의 軸振動에대한 動的回轉精度의 값이 submicron 정도의 요구가 증가되고 있다. 또한 bearing 부분의 剛性을 높이기 위하여 豫圧을 하는데 이 豫圧量이 너무 크게 되면 bearing 摩擦이 커져서 温度上昇을 초래하기 때문에 수명단축의 원인이 되므로 豫圧量의 설정에 주의할 필요가 있다. 또 메카트로닉스에는 電池를 동력원으로 하는 機器가 많기 때문에 bearing에는 動力損失 즉 摩擦모멘트를 작게할 필용가 있다. −10℃에서 55℃ 정도의 큰 온도범위에 따른 bearing 摩擦모멘트의 크기가 될 수 있는한 변하지 않아야 된다. 그러기 위해서는 bearing의 설계, 제작및 潤滑이 관계가 된다.

ball bearing의 潤滑에서는 密封裝置를 간단히 하기 위하여 grease가 사용된다. 여기에는 온도에 대한 精度變化가 작은 合成油를 基油로 하는 潤滑 grease가 사용된다. 또 회전중 異音을 줄이기 위하여 filter로 여과된 清淨grease가 사용되는 것도 있다. 또 摩擦모멘트가 큰 경우에는 油潤滑이 사용

되는데 여기서 중요한 포인트가 되는것은 어느 경우든 彈性流体潤滑(EHL)理論에 기초한 油膜 두께의 表面粗度에 대한 油膜 parameter의 크기를 2 이상 확보할 필요가 있다. 또 ball bearing의 수명은 封入된 潤滑劑의 劣化에 의한 潤滑壽命이다.

다음은 燒結含油베어링으로써 生産性의 향상과 가격, 품질면등에 대응하기 위하여 자동차 가전기기, 음향기기, 사무기기, 농업기계, 정밀기계등의 분야에 널리 사용되고 있다. 특히 高性能이 요구되는 VTR이나 小形 CTR 등의 映像, 음향기기에 그의 요구가 강하다.

燒結含油베어링의 適用例를 보면 面壓 P와 速度 V와의 관계로 볼때 광범위하게 사용되나 가전제품이나 음향기기 등에는 비교적 低速回轉의 高面壓이 要求된다. 특히 VTR用 capstan bearing의 경우에서는 軸回轉速度는 약 2 m／min 이하가 된다. 따라서 여기에 대응하기 위해서는 負荷가 높고, 使用温度範圍도 넓고 低速回轉下에서 長期間 안정된 베어링性能이 요구된다. 이런 요구에 부응하기 위해서 燒結베어링의 재료와 潤滑이 문제가 된다. 재료로써는 從來의 銅系材料로써 Cu－Sn, Cu－Sn－Pb, Cu－Sn－黑鉛系로 大別된다. 그러나 이들만으로는 低速回轉下에서의 베어링性能을 만족시킬 수가 없기 때문에 固体潤滑劑의 사용이 적극 연구되고 있다.[10] 固体潤滑劑로써는 黑鉛이나 二黃化몰리브덴(MoS_2)가 사용된다. 여기에서 포인트가 되는 것은 添加量의 문제인데 일반적으로 8 vol% 以下에서는 比摩耗量이 작어지나 그이상에서는 상승한다. 대체적으로 VTR用핀치롤러베어링, capstan bearing 등에는 靑銅基地中에 MoS_2를 첨가한 燒結베어링재료가 쓰이며 휴대용 소형 CTR用 capstan bearing 用으로써는 負荷가 VTR의 경우보다 작으나, 電池사용때문에 消費電流를 작게 할 필요가 있다. 따라서 여기에는 Cu－Sn－Pb系의 재료가 많이 사용된다.

氣体베어링은 submicron의 回轉振動精度가 비교적 쉽게 얻어지고, 회전에 따른 振動의 발생이 없고, 摩擦係数가 微小하며 驅動에 따른 動力損失이나 發熱이 작은 등, 다른 형식의 베어링에서는 볼 수 없는 독특한 特性때문에 超精密스핀들이나 高速回轉스핀들로 아주 적합하여 최근들어 많이 實用化 되어가고 있다. 이의 용도에는 ferrite 나 silicon 등 脆性材料의 硏削이나 微細加工用의 스핀들, laser · scanning 用의 多面鏡이나 磁氣디스크의 다이아몬드 切削加工用의 스핀들등, 電子나 光學産業의 先端技術에 관련된 것이 많다.

다이아몬드 切削加工用 스핀들 같은 경우에는, 사용되고 있는 laser－scanning system의 多面鏡은 높은 形狀精度와 다듬질面의 거칠기가 중요하다. 또 磁氣디스크의 직경은 현재 3″로부터 14″까지 사용되고 있기 때문에 切削이나 硏削加工의 精度가 높지 않을 수 없다. 여기에는 diamond bite에 의한 방법이 있는데 超精密正面旋盤등이 전용으로 쓰이는데, 여기의 work spindle은 高精度, 高剛性의 氣体베어링이 사용된다. 이런 경우 다듬질面의 거칠기는 각각 0,1 μm이하, 0,02 μm Rmax 정도가 얻어져서 多面鏡으로써 충분한 性能이 얻어질 수 있다.

LSI 基板인 silicon wafer는 生産性向上을 위하여 大徑化가 되어가고 있는 실정이다. 현재는 6″徑이 實用化가 되어가고 있으나 수년후에는 8″徑 또는 그 이상의 大徑 wafer가 등장하게 될것인데 이에 따른 切削機構의 스핀들은 당연히 크게 된다. 따라서 이의 回轉精度가 문제가 되는데 여기에 氣体베어링을 사용해서 3 μm이하까지 精度를 높이고 있다. 또한 輕荷重으로써 회전수가 많고 연속적으로 사용하는 스핀들 軸에는 高速安定性이 우수한 動庄氣体베어링이 적당한데 여기에는 스파이럴베어링 · 호일베어링 등이 쓰이며 최근에는 헬륨液化裝置의 터보式 膨脹機用으로 제작된 動庄氣体베어링이 개발되고 있다. 이경우에는 200000 rpm 까지 안정된 회전을 얻을 수 있으나 常用 180000 rpm 까지 볼 수 있다.

또하나 빼놓을 수 없는 要素로는 플라스틱材 gear와 bearing인데 이것은 금속재료에 비하여 가벼웁고 自己潤滑性이 있고, 소음이 작고 耐摩耗性, 耐腐食性, 成形性이 좋고 他플라스틱材와 複合化에 의한 性能의 개선이 비교적 쉽기 때문에 비디오, 카셋트레코더 등의 家電機器, 카메라, 시계, 각종계기, 사무기계의 GEAR, BEARING 등의 活動部에 널리 사용되고 있다. 그러나 그 반면 플라스틱材는 機械的强度, 耐熱性이 작고, 熱膨脹이 鋼에 비해 5～10배로 크기 때문에 高荷重1에서 長時間運轉을 하면 온도 상승에 의한 强度의 低下나

膨脹을 일으켜 운전불능이 되기 때문에 작은 動力을 전달하는 回轉傳達用 小 gear (모듈 m =0.1~1.0정도)에 사용된다.

이 플라스틱 gear와 bearing에서는 이와같이 强度, 耐熱性面으로 볼때 힘에 대한 온도 상승을 제어하기 위하여 gear사이의 摩擦係数가 작아야 된다. 摩擦係数는 相對미끄럼速度, 荷重, 潤滑條件에 따라 달라진다. 潤滑油를 사용하는 경우에는 無潤滑의 경우보다 摩擦係数는 작아지나 回轉運轉의 傳達gear에 있어서는 潤滑油의 粘着力에 의한 Torque의 變動이 생기기 때문에 사용에 주의할 필요가 있다. 小型베어링에는 無給油化가 요구되어 軸徑 2㎜ 정도의 金属系含油베어링에 軸徑 2~3㎜ 정도의 含油폴리아세탈(POM) 4弗化에칠렌樹脂(PTFE)베어링이 사용된다. 이들의 摩耗量에 대한 문제는 사용 潤滑油에 따라 다르며 基材에 따라서도 다른데 대체적으로 mobil油가 spindle油보다 조금 작고 紙基材페놀樹脂인 경우가 布基材보다 작다. 그러나 사용 조건에 따라 달라질 수도 있으므로 재료에 대한 연구가 並行되어야 할 것이다.

7. Mechatronics와 潤滑油

메카트로닉스의 潤滑特性이라고 볼 수 있는 것은 경우에 따라서는 −100℃이상의 極低温으로부터 1000℃이상의 高温까지 적응할 수 있는 넓은 사용온도 범위와 極限環境下에서도 적용될 수 있는 安定性, 그리고 환경을 오염시키지 않는 潤滑과 耐高速性과 低摩擦등이다. 그리고 한편으로는 fine ceramics와 같은 新素材, 自己潤滑性複合材料, CVD, PVD에 의한 表面処理에 대한 潤滑面등에 대응될수 있도록 해야 한다. 이러한 것을 해결하기 위하여 필요한 조치의 하나가 바로 潤滑油의 사용이다. 최근에는 超高眞空(10^{-13} Torr)까지 사용 가능한 弗素油등이 出現되고 있다. 그러나 앞으로도 더욱 性能이 좋은 새로운 潤滑油의 출현이 기대된다.

메카트로닉스에 사용되는 潤滑劑를 나누면 사용하는 곳에 따라 다르나 크게 液体潤滑劑와 固体潤滑劑, grease등으로 나눌 수 있다. 液体潤滑劑로써는 사용되는 메카트로닉스에 따라서 磁氣記錄媒体用과 工場自動化에 따르는 FA用으로 나눌 수 있다. 磁氣記錄媒体用潤滑劑로서의 요구특성은 耐久性이 있는 潤滑性을 부여할 수 있고, 外的要因을 극복할 수 있으며, 表面性의 악화와 塗布膜의 物性低下를 일으키지 않는 것 등이다. 이를 해결하기 위하여 현재까지 제안되고 있는 것으로는 다음과 같다. (1)長鎖脂肪酸 (2)脂肪酸에스텔 (3)流動파라핀 (4)실리콘誘導体 (5)含弗素化合物 등이다. 塗布型의 媒体를 중심으로 潤滑劑의 동향을 보면 처음에는 脂肪酸과 脂肪酸에스텔의 並用系가 제안되었으나 그후에는 실리콘 誘導体, 含弗素化合物이 그리고 현재에는 脂肪酸에스텔, 流動파라핀을 중심으로한 潤滑系가 많이 나타나고 있다. 그러나 이들의 성분과 조성에 대해서는 潤滑性을 좌우시킬 수 있기 때문에 기업의 노우하우되어 있어 명확한것은 얻기가 어려운 실정이다.

한편 工場自動化에 대한것은 生産品目의 多様化에 대처하기 위한 FMS(Flexible Manufacturing System)의 도입으로 인한 生産性과 経濟性의 문제로 연속(無人) 운전시간의 연장이 중대한 관심이다. 따라서 潤滑과 潤滑管理도 保全点檢, 防災, 安全對策, 潤滑油의 성능유지, 加工油의 성능향상과 관리가 重視된다. 그중 省人化의 관점으로 볼때 防災上加工油劑의 不燃性이 필요하다. 이 때문에 공구의 수명을 희생한 水溶性切削油가 사용된다. 여기에서는 물과 같이 사용되기 때문에 特히 液의 수명과 腐敗등의 문제가 있으므로 거기에 대한 대비가 필요하다. 사용되는 水溶性油劑로는 soluble type과 Emulsion type이 있으며 HWBF도 있는데 물과 기름의 混合比率과 方法등의 연구가 필요하다.

固体潤滑劑는 대표적인 것이 MoS_2이다. 이 MoS_2는 로보트의 gear및 다른 活動部에 사용된 것은 오래전 일이다. 이들 bearing과 gear에는 10%정도의 함유량이 많이 쓰인다. 또 MoS_2는 耐水性潤滑劑로도 쓰이는데 거기에는 油性向上劑 極圧劑등을 배합한 高粘着, 强한 付着性 grease가 적합하다. 또 大型컴퓨터의 入出力機構의 回轉部, 活動部에 oil이나 grease를 사용하면 長期間潤滑과 汚損의 점에서 문제가 있기 때문에 MoS_2를 50% 함유한 제품도 있다. 複写機에서도 사용회수가 급증하는데 따른 熱源을 유지하기 위하여 耐熱性이

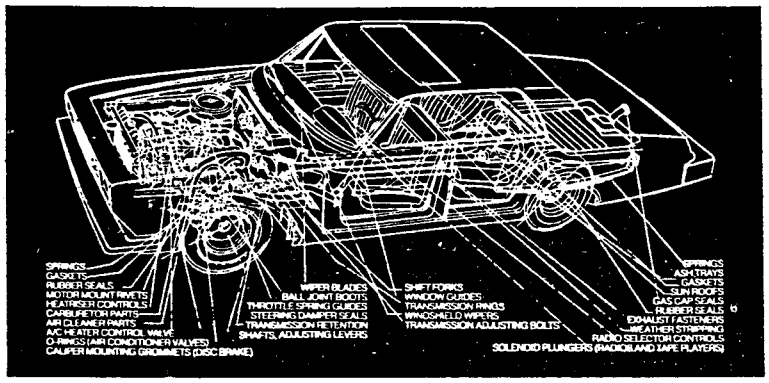


그림 : 자동차에 있어서 固体皮模潤滑剤의 適用

중요하다. 이를 위하여 MoS_2를 30% 함유한 제품이 있다. 카메라에서는 採光量調整이 가장 중요한 기구로써 수천분의 일초의 微小時間에서의 샤터의 摩擦係数가 일정해야 하는 것이 필수의 요건이다. 이때 oil이나 grease를 사용하면 擴散에 의해 렌즈에 기름에 의한 김이 낀다. 이것을 방지하기 위해서 固体潤滑剤를 함유하는 乾燥被膜処理가 필요하다. 自動車에서는 固体皮膜潤滑剤가 그림에서 보는 바와 같이 適用箇所가 100~1000정도가 있다고 보고 있다.[11] 특히 피스턴 形状決定을 위한 에폭시 樹脂, MoS_2, Al粉複合皮膜処理는 좋은 발전의 예이다. 美国自動車業界에서는 燃料噴射및 터보챠져의 電子制御에의 사용에 박차를 가하고 있다. 또 NASA 研究所 에서는 1000℃이사의 터보젯트엔진에 사용 될 수 있는 CeF_3(弗化세리움)의 固体潤滑剤에 대해서도 研究되고 있다.[12]

潤滑 grease는 구름베어링, 미끄럼베어링, gear, ball screw, 直動案內베어링 및 電氣接点등이 있는 곳에 사용된다. VTR 베어링用 grease는 主流를 이루는것이 基油로써 에스텔油에다 첨가제가 함유되며 일부에는 우레아化合物, 合成炭化水素油 grease도 사용된다. 컴퓨터磁氣디스크 스핀들베어링用 grease는 基油가 鉱油系가 사용된다. 그외에 복사기, ball screw, 카메라, 전자현미경 등의 메카트로닉스機器에도 grease가 기름과 같이 쓰이고 있는데 여기에서는 基油와 첨가제, 그리고 그의 量등에 따라 달라지며 이것이 각 메이커의 특징으로 기업의 노우하우로 중요한 포인트가 된다.

8. 展 望

최근의 産業은 鐵鋼, 造船등 과거의 「重厚長大」한 것으로 부터 石油危機를 맞이하여 省資源, 省에너지, 環境保全에 대한 관심이 높아져서 物과 에너지의 생산소비의 급성장이 중단되었다. 그리고 electronics가 진보되면서 세계는 連鎖反應的으로 변화되어왔다. 그래서 産業도 「輕薄短小」로 중심이 이동되고있다. 따라서 이 10년정도의 electronics의 進步에 따른 Mechatronics의 進展은 눈부신 업적을 남겼으며 앞으로도 많은 發展을 가져오리라 생각한다.

여기에 따른 潤滑技術도 機械의 大形化, 高速化, 高性能化, 省에너지를 중심으로 발전하여왔다. 그러나 최근 Tribology 研究의 중점은 情報関聯機器나 메카트로닉스機器의 Tribology, 極限環境이나 特殊環境에 대한 摩擦面이나 潤滑제, ceramics등 新素材의 Tribology의 문제를 이동되고 있다. 機械는 다른 분야의 기술과의 結合, 複合, 融合등에 의해 진보되기 때문에 소위 high technology 面에서 볼때도 가장 중요한 위치를 차지한다. 여기에 「機電一体」인 Mechatronics는 그러한 의미에서 볼때 보다 중요한 것으로 기대된다.

컴퓨터用 磁氣디스크 장치의 浮動헤드슬라이더와 磁氣디스크의 空氣膜潤滑濟의 문제만 보더라도 장치의 記憶密度를 좌우하는 헤드의 浮上量은 매년 조금씩 작아져서 현재 實用化되고 있는 것은 0.2~0.3μm로써, 空氣分子의 平均自動行政의 배 이상

이나 浮上量이 0.1μm 이하의 磁氣디스크 장치가 다음의 개발목표가 될 것이다. 이와 같은 영역에서 空氣膜을 유지하기 위해서는 活動部의 表面加工을 포함한 加工技術·材料技術과 回轉体를 지지하는 技術·환경관리 등에 따른 技術등 Tribology의 技術을 포함한 여러 분야의 技術의 발전이 뒤따라야 될 것이다. 여기에 많은 연구가 필요한 것이다. 끝으로 하고 싶은 말은 우리도 하루 속히 技術開發이 될 수 있는 여건을 조성해서 技術先進国과 어깨를 나란히 하고 싶다는 생각이다.

參 考 文 獻

1) 服部誠二·外5人 : 電氣通信研究所 研究實用化報告. 31, 1(1982) 277.
2) 木暮賢司·外3人 : 電氣通信研究所 研究實用化報告. 31, 1(1982) 291.
3) 柳沢雅弘 : 潤滑學會研究發表會(第27期 通常總會)予稿集, (1983) 137.
4) 北 壽郎外2人 : 潤滑, 29, 3(1984) 195.
5) 花房広明外2人 : 信學論, 丁65－C, 5(1982) 315.
6) HANAFUSA:JSLE, Vol.30, No.8(1985) 555.
7) SEKIKAWA:JSLE, Vol.30, No.8(1985) 557.
8) G. C. DEVOL:US Pat 2988237 (1961).
9) 石田弘明外2人 : 潤滑, 30, 8(1985) 567.
10) G. CLOUGH&C. S. CRooKS:Powder Mettallurgy, 12(1969) 386.
11) L. johuson:Status Report, (1982)
12) H. SLENEV:NASA Tech Note, D－5301 (1969)