

潤滑技術

윤활과 베어링의 기술적 이야기(II)



서울대학교 工科大學 명예교수
工學博士 鄭善謨

7. 靜壓베어링

미끄럼면의 운동만으로는 流體壓力膜을 만들기 어려운 경우에는 예를 들면 미끄럼속도가 작을 경우라든가 空氣와 같이 粘度가 같이 작은 流體를 사용하는 경우에는 靜壓베어링을 사용한다.

즉 펌프 또는 壓縮機로서 昇壓된 기름 및 空氣를 베어링에 인도하여 荷重을 지지하므로 靜止中이라도 軸을 流體膜을 지탱해 나간다. 低速大荷重의 베어링의 例로서 파로마 天文台(美國)의 大望遠鏡은 500톤이나 되는 무게를 별의 움직임에 따라 맞추어 서서히 움직이기 때문에 靜壓油베어링을 사용하여 마찰계수 $\mu = 4 \times 10^{-6}$ 이라는 극히 작은 마찰계수로서 支持할 수가 있었다. 같은 양으로 水車發電機의 起動摩擦을 감소시켜서 베어링 表面을 손상시키지 않도록 動壓베어링의 패드에 작은 구멍을 뚫고, 起動時에 高壓油을 導入시켜서 軸을 떠오르게 하는 일도 있다.

간단한 靜壓베어링의 例로서는 正方形패드의 드러스트베어링을 그림18에 圖示한다. 패드에는 油壓이 고루 작용하도록 오목부와 壓力이 떨어지나가지 않도록 댐(weir)을 설치한다. 加壓流體의 供給시스템은 먼저 펌프로서 昇壓된 기름을 壓力調整弁으로서, 還流시키면서 供給壓力 P를 一定하게 유지한 다음에 기름은 毛管과 같은 节流抵

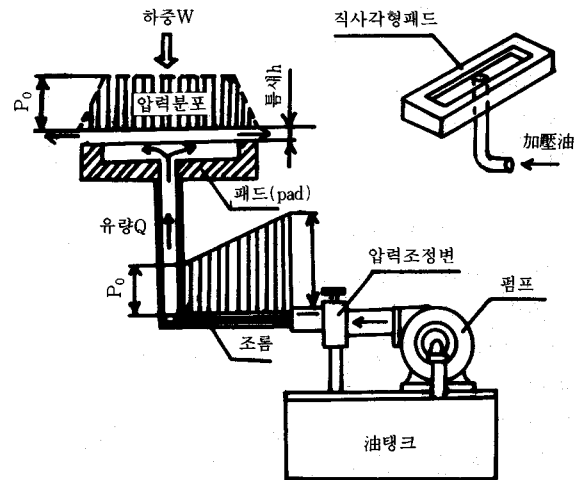


그림18. 靜壓油 베어링의 構成

抗을 통과시킬때 壓力降下하여 패드의 오목부(凹部)에 들어가서 荷重을 지지한다.

기름은 드러스트 軸과 댐의 틈새로부터 누설되나, 이 부분은 動壓베어링의 油膜에 해당하는 좁은 틈새이고 오목부의 壓力을 유지하는 작용을 한다. 그림18에서 보는 바와 같은 壓力分布가 생기고, 壓力의 合計는 荷重W와 같게 된다.

기름의 供給管의 도중에서 节流저항을 설치하여 壓力損失을 주는 理由를 생각한다. 荷重의 增減에 상응하여 軸과 베어링의 틈새에 생기는 變

이 베어링에서 주의해야 할 것은, 각 패드의 높이를 맞추어 하중을 균등하게 분담시키는 일이다. 대형 베어링이라도 패드 출구의 유막 두께는 수십 μm 정도이므로, 높이를 벗어나는 것이 그 이하기 되도록 조립하는 것은 번거롭다. 높이 치수에 주목하는 것보다도 직접 하중의 균등배분을 고려하여, 예를들면 그림3과 같이多數의 코일 용수철로 패드를 지지한 경우, 하중의 대소에 응하는 용수철의 압축으로 하중의 불균등을 흡수 개선할 수 있다. 이 경우 용수철 지지력(支持力)의 합력점(合力點)이 피버트(pivot)지지점에 해당한다.

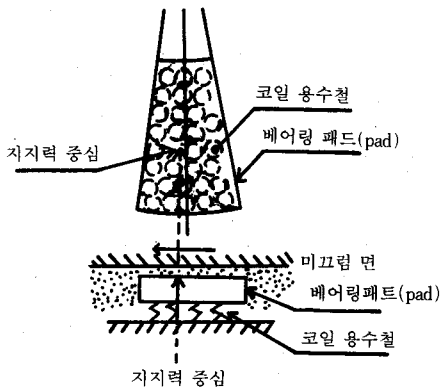


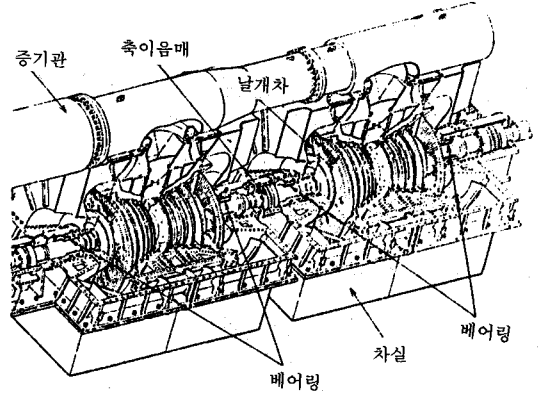
그림21. 용수철 지지 미첼 베어링

이 베어링이 발명되기 이전은 평평한 원륜상(円輪狀)의 베어링이 사용되었으나, 성능이 너무나 나빴다. 현재도 간단한 베어링으로써, 저어널(journal) 베어링 단면의 원륜(円輪) 부분을 드러스트 베어링에 사용하는 일이 많다. 단면(斷面)에 원주(円周)를 4~8 등분하는 방사狀의 기름홈을 파내는데, 홈에 구분된 부채꼴의 베어링은 평행 평면 베어링이므로 부하용량은 0이다. 그러나, 실제로는 面壓數 bar 정도의 얼마안되는 부하용량이 있다.

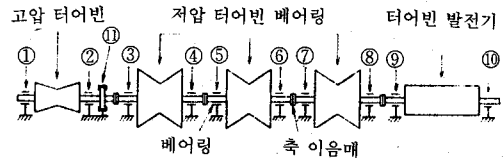
1-2 터빈·발전기(오일 휩 : oil whip)

화력 발전의 효율을 높이기 위해 보다 고온(550°C 이상)·고압(250bar 이상)의 증기로 터빈을 돌리는 기술 개발이 진척되고 있다. 그림4는 원자력 터빈 발전기로 280°C·70bar의 증기

를 고압 터빈에 공급하고, 그 배기(排氣)를 3대의 저압 터빈에 이끌어내어 터빈 및 발전기를 돌린다. 함께 5개의 軸 각각에 저어널(journal) 베어링 ①~⑩을 놓아 일직선으로 연결한다.



(a) 저압 터빈 베어링



(b) 증기 터빈·발전기의 베어링

그림22. 증기 터빈·발전기의 베어링

이와 같이 다수의 저어널 베어링으로 軸을 지탱할 때는 하중배분(荷重配分)에 주의하여 정밀도가 좋게 베어링을 설치하고, 일부 베어링에 과대한 부하가 걸리지 않도록 한다. 직선 기준에는 레이저 광선등을 이용하고, 全長 50m를 넘는 軸을 설치한다. 드러스트 베어링⑩은 증기류에 따라 발생하는 축방향의 힘을 받기 때문에, 축에 설치한 회전원板의 양측에 베어링 패드를 나란히 수평방향의 움직임을 멈춘다.

고속대형(高速大型) 베어링의 윤활은 펌프(pump)로 기름을 공급하는 강제 급유방식으로 기름의 순환을 많이하여 베어링의 냉각을 자주 한다.

2極 발전기(3000rpm, 3600rpm)의 베어링은 대표적인 고속 저어널 베어링으로, 회전축의 고속

진동수의 2배 정도 높은 회전수로 운전된다.

그림23에 나타나는 상하/수평의 틈사이 비가 0.34/0.68=1/2인 타원 베어링이고, 上部 베어링의 중앙에는 원주에 따르는 폭넓은 기름홈이 있어 기름의 순환량을 크게 하고, 냉각을 자주 한다.

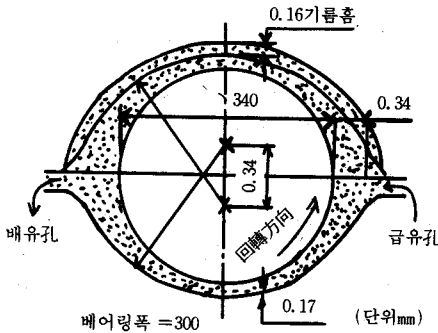


그림23. 타원 베어링의 형상

그림24은 가로축에 회전수, 세로축에 진동수, 원은 진폭을 나타내는데, 0~2750rpm까지는 불균형한 하중에 의한 소진폭(小振幅)의 진동뿐이고, 진동수와 회전수는 동기(同期)이다.

1500rpm부근의 진폭이 약간 크고, 이 근처가 고유 진동수로 추정된다.

2750~3600rpm에서는 이상하게 크게 흔들림회전을 일으키고 진동수는 회전수에 관계없이 1450cpm(매분 진동수)으로 했다.

전형적인 오일 휩(oil whip)축의 고유 진동수와 같은 진동수로 흔들림 회전하고 축의 회전수의 대략 1/2에서 발생한다. 흔들림 회전운동을

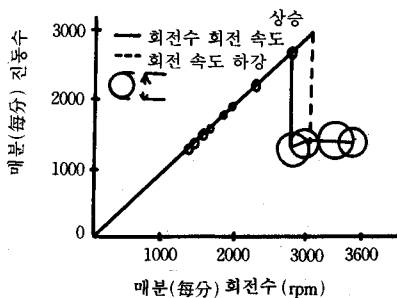


그림24. 축의 흔들림 회전 진동수와 진폭(수평방향)

그림25에 나타내면, 축의 회전 방향과 같은 방향에 흔들림회전하고, 자취는 타원 베어링 틈사이의 영향으로 편평하게 되어 있다. 회전수를 낮추는 과정에서는 점선의 변화를 나타내어, 상승時보다 더 높은 회전수에서 안정하게 된다.

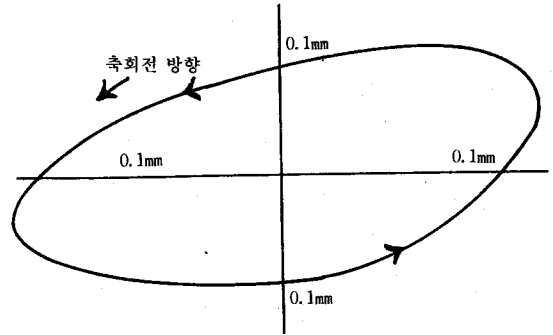


그림25. 축심의 흔들림 회전의 자취(2900rpm)

이것은 운전中 차츰 온도가 상승하여 기름의 정밀도가 낮아지고, 축이 내려앉아 안정화(安定化)한 까닭으로 해석된다. 조건에 따라서는 반대로 낮은 회전까지 불안정하게 되는 일도 있고, 오일휩(oil whip)의 발생과 소멸의 회전수가 항상 일치한다라고는 할수없다. 이 베어링을 안정화하기 위하여 베어링 면적을 10%감하고, 정밀도가 보다 작은 기름을 사용해서 축심(軸心)을 가라앉히는 조치를 취해서 해결했다.

고압 터어빈의 베어링①과 ②는 하중이 작기때문에 불안정하게 되기 쉽고, 타원 베어링보다 안정도가 높은 미첼 베어링을 사용하는 경우가 있

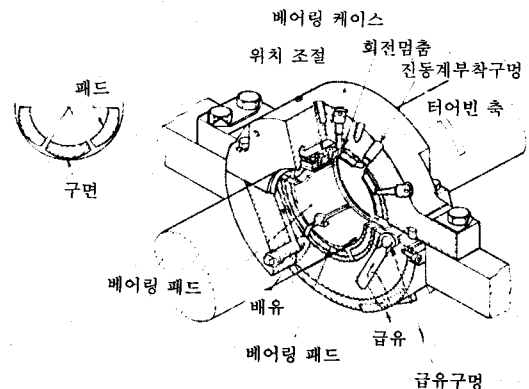


그림26. 미첼형 저어널 베어링

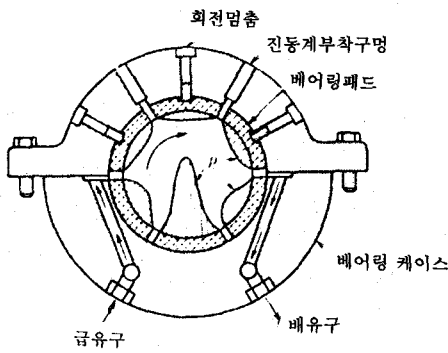


그림27. 미첼형 저어널 베어링과 유압 분포

다. 그림26은 6개의 패드를 원주에 나열하고, 패드의 안쪽을 구면상(球面狀)으로 해서 개별로 기울도록 하고 있다. 미첼 베어링은 그림9와 같이 하중 방향에 있는 패드만이 하중을 부담하므로 하중 방향과 패드의 복원력(復元力)의 방향이 일치하기 때문에 안정성이 크다. 그림10의 미첼 베어링과 타원 베어링의 축심 자취를 비교하면 하중에 對한 兩者의 차이가 분명해진다.

㉑의 드러스트 베어링에는 미첼 베어링이라든가 테이퍼드랜드 베어링이 사용된다. 그림29에 베어링 조각의 치수의 일례를 나타낸다. 유량(油量)을 많이하야 냉각을 자주 하고 싶기 때문에, 최적막 두께보다 꽤 크게 기울기를 잡고 최소 유막 두께를 베어링의 크기에 따라 25~50 μ m 정도로 한다. 또, 베어링의 소손(燒損)을 방지하기 위해, 온도계를 베어링 금속에 설치하여 감시하고, 허용 온도를 $100 \pm 15^\circ\text{C}$ 정도로 설정한다.

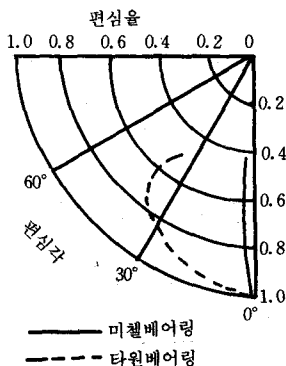


그림28. 미첼 베어링과 타원베어링의 축심자취

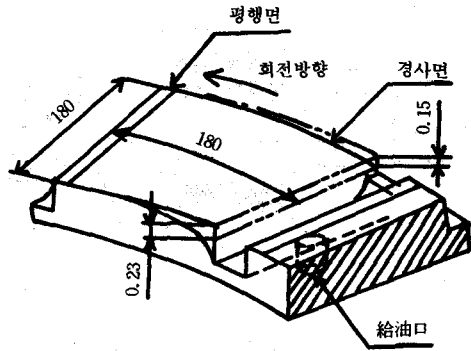


그림29. 테이퍼드랜드 베어링의 상세치수例(mm단위)

1-3 터보 차아저(turbo charger)(부동 부쉬 베어링)

엔진의 배기 가스로 터빈을 돌리고 그것에 직결하는 압축기로 공기를 연소실에 압송하여 엔진 출력을 증가할 수 있다. 승용차 터보 차아저(turbo charger)는 그림12와 같이 形이 다른 날개를 회전축 양끝에 설치하고, 중앙을 베어링 支持한다. 날개 車의 외경을 100mm정도로 소형화했기 때문에 매우 높은 10~20만 rpm 회전이 필요하다. 회전체의 고유 진동수를 훨씬 초과한다. 고속 회전의 베어링에 필요한 것은 高안정성과 低마찰손실이다.

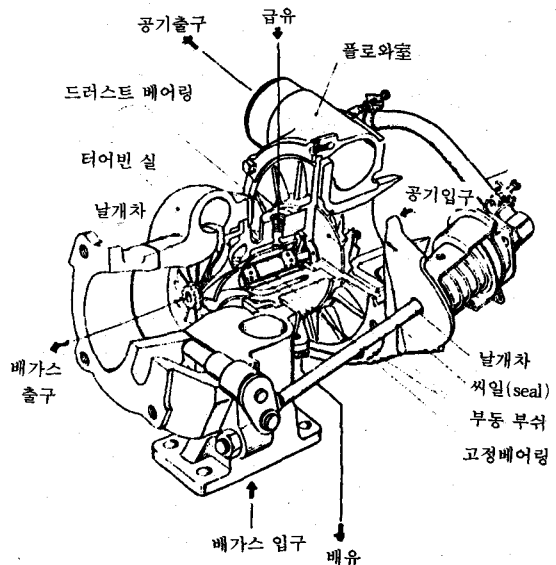


그림30. 터보 차아저의 부동부쉬 베어링

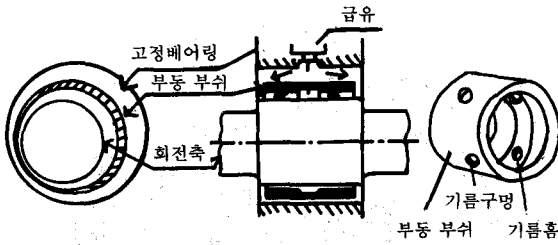
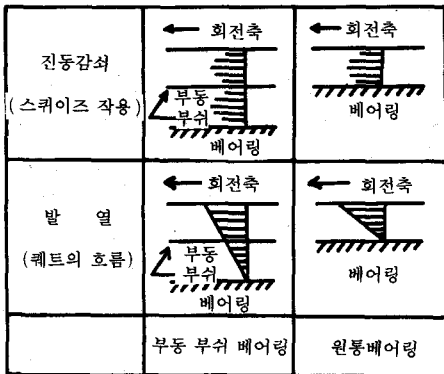


그림31. 부동 부쉬 베어링의 구조

그림31에 나타나는 부동 부쉬(bushing)의 저어널 베어링이 사용되고 있다. 축과 베어링 사이에 적당한 틈까지 끼워 맞추는 부쉬(원통)를 넣고, 축의 회전에 따라서 부쉬도 회전하도록 조립한다. 베어링 원통의 외측에서 공급한 기름은 부쉬 구멍에서 축과의 틈으로 흘러들어 간다.



부동 부쉬의 두께만 0으로 가정

그림32. 감쇠력 증대와 발열감소에 작용하는 부동 부쉬 유막의 흐름

단순한 원통형 저어널 베어링보다도 축의 흔들림회전을 일으키기 어려운 이유는 그림32 상단에 나타나듯이 부쉬의 內外면에 유막이 생기기 때문에 포아슬이(polsselle) 흐름의 변화로 발생하는 스퀴즈(squeeze) 작용이 증가하고, 따라서 축의 진동에 대한 흡진(吸振) 작용이 증가하여 안정성이 좋아지게 되는 것이다.

그림의 하단에 나타나듯이 두개의 틈새를 합치면 유막 두께가 커지므로, 뉴우튼의 점성(粘性)의 式에서 마찰력은 작고, 따라서 마찰손실이 작아진다. 단 부쉬가 그림과 같이 기름의 유속(流

速)과 일치한 속도로 운동할때에 가장 효과가 있지만, 실제로는 부쉬는 기동하기 어렵고, 회전해도 축의 회전속도의 10~40%(부쉬 内外의 틈새가 같은 경우)이다. 기대하는 만큼 마찰손실이 줄어들지 않는다고 하여도, 틈새가 크기때문에 기름의 순환량이 많아서 온도상승을 억제하는 효과가 있다. 터보(turbo) 차아저(charger)에서는 엔진의 배기열도 증가되기 때문에 냉각을 보다 좋게 하지 않으면 안된다.

9. 베어링

9-1 수차(水車 : water turbine)

페놀(phenol) 수지는 금세기 初쫘부터 전기 절연재료등에 실용되고 있으나, 무명에 페놀 수지를 포함시켜 성형(成形)한 베어링材는, 무명베가 물에 젖기 쉬우므로, 수막(水膜)이 생기기 쉽고, 水윤활 베어링 재료에 적당하다. 금속재료의 축과 베어링일때는 물에 그리스(grease)를 혼입하지 않으면 “값음” 손상을 일으키는 일이 잦지만 페놀 수지 베어링은 녹스는 일이 없이 금속축에 융합하기 쉽고, 모래 따위의 硬한 이물질을 수지가운데에 매워서 마모를 적게하는 등 뛰어난 성질을 겸하고 있다. 그러나 물을 흡수하여 팽윤(膨潤)하므로, 미리 물에 담궈서 치수(寸數)가 안정된 다음 사용하지 않으면, 베어링 틈새가 크게 변화하므로 주의가 필요하다.

9-2 펌프(pump)

펌프 전체를 물에 담그는 수중(水中)펌프에서는, 보통 水윤활 베어링을 사용한다. 특수한 예이나, 원자로(原子爐)의 압력용기內的 열水순환용 水펌프는 구동모터도 포함하여 회전부분을 전부 수중(水中)에 두고 高温高壓水의 새는 것을 확실히 방지할 수 있도록 고려하고 있다. 베어링 재료에는 금속을 혼입한 카아본(carbon), 축은 스테인리스 鋼을 사용하지만, 카아본은 水베어링에 적합한 재료이다. 모터의 上下에 설치한 안내 베어링은 경하중(輕荷重) 때문에 旋回現象(whirling)을 일으키기 쉬우므로, 3원호(円弧)베어링으로 하여 安定化를 도모한다. 드리스트 베어링은 카아본製 패드의 미첼 베어링이다(그림34).

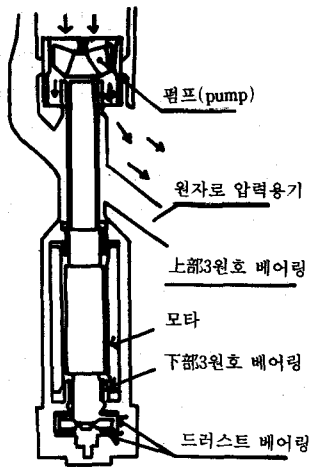


Fig 33 원자로用 순환 펌프

9-3 船用 프로펠러(propeller)

배의 스크루(screw) 프로펠러 축을 지탱하는 베어링에는 바닷물로 윤활하는 방식과 대형 선박용의 오윤활 방식이 있다.

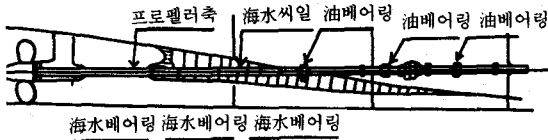


Fig 34. 프로펠러축용海水 베어링

그림 34는 고물(船尾)의 길이 프로펠러 축을 3개의 海水베어링으로 지탱하고, 배안은 油베어링 지지 구조이다. 베어링 재료에는 열대지방(熱帶地方)에서 產出하는 硬한 나무 리그넘바이티(lignumvitae)가 사용되었으나, 입수난(入手難)도 있어서 최근에는 고무 베어링이 많아졌다. 그림35는 고무 베어링의 구조로, 베어링폭/축지름=1~4의 비교적 긴 베어링으로 한다.

고무는 열에 약하므로 베어링 틈새를 크게, 축방향 흡을 많이해서 물의 순환을 좋게하고, 고무의 온도 상승을 방지하는 것과 동시에 침입한 이물질은 배제하기 쉽게한다. 모래와 자갈과 같은 단단한 이물질은 고무가 찢부러져서, 축의 회전

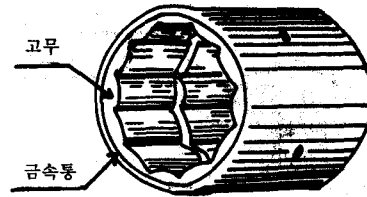


Fig 35. 수중 고무 베어링

에 따라 흡에 배출되므로, 내용(耐用)시간은 리그넘바이티보다 길다. 고무를 청동따위의 금속 원통內에 압입하여, 하중에 의한 변형에 견디는 구조로 한다. 젖은 고무와 금속은 매우 미끄러지기 쉽고, 마찰계수 μ 는 젖었을때에 0.001~0.005, 건조시에 0.5정도이다. 고무는 기름과 유기용제(有機溶劑)에 따라 팽윤(膨潤)하므로, 주의를 요한다.

10. 공기 베어링

10-1 光偏向器

그림36은 계산기 출력의 인쇄 장치 레이저 빔 프린터이며 刻印字用の 레이저 입사광선을 회전 다면경(多面鏡)으로 反射하고, 減光 드럼上을 좌우로 주사(走査)하여 記錄紙에 인쇄한다. 그림37는 光偏向器의 구동 모터 斷面圖를 도시하고, 多面鏡을 부착한 垂直軸은 상하 2개의 空氣 베어링과 아래끝의 자기(磁器) 드러스트 베어링으로 지탱된다.

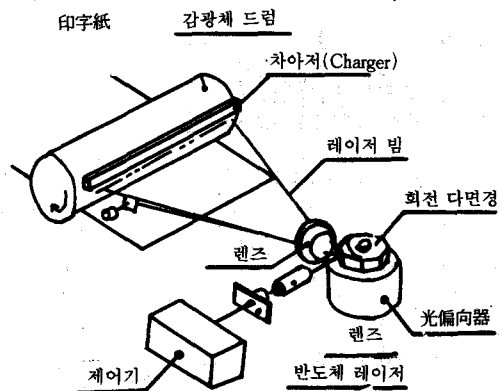


Fig 36. 레이저 빔 프린터와 光偏向器

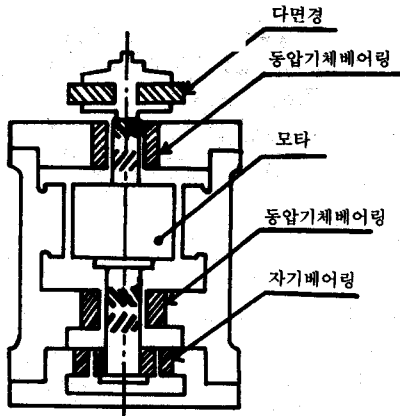


Fig 37. 光偏向器 베어링 구조

동압 공기(動壓空氣) 베어링은 윤활제의 공급 장치가 필요하지 않고, 온도 상승이 작기 때문에 베어링 특성은 거의 변화하지 않으며, 소음도 극히 작은 잇점이 있다. 드러스트 하중을 담당하는 영구자석(永久磁石) 베어링도 윤활제가 불필요한 잇점을 갖기 때문에, 兩者를 조합시키면 보수 관리가 必要없는 간단한 구조로 된다.

軸門筒 베어링보다도 안정성이 뛰어난 나선 홈 부착 스파이럴(spiral) 공기 베어링은 직경=폭=16[mm], 틈새=3[μm], 홈깊이×폭=12[μm]×1.6[mm], 홈數=16, 홈의 수평에서의 경사角=25°이다. 자기 베어링은 그림38과 같이 반지름 방향으로 磁化한 페라이트(ferrite)製 영구 자석

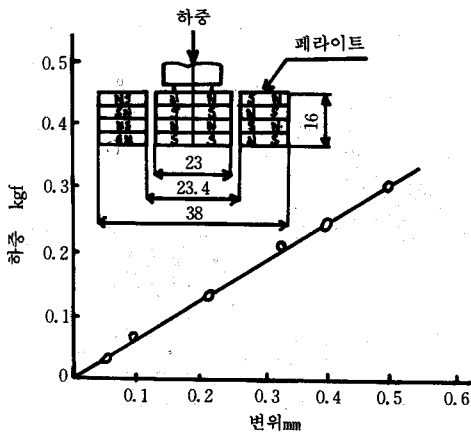


Fig 38. 자기 베어링의 특성

원류를 겹쳐 쌓은 것으로, 축방향의 어긋남에 대해 내외륜의 NS 극간의 흡인력이 축방향 復原力(復原力)으로써 작용한다. 이 베어링의 반지름 방향 흡인력(吸引力)에 의한 불안정한 이심작용(離心作用)은 공기 베어링으로 제지되고 있으므로 축방향 평형점에서 上下에 어긋났을때의 복원 작용을 드러스트 베어링으로 이용할 수 있다. 회전체의 불균형을 가능한 한 제외하고 운전한 결과는 9500 [rpm]의 공진점(共振點)에서는 0.5[μm] 흔들렸는데, 12000[rpm]의 超危險速度의 회전에서는 흔들림이 0.1[μm]이하의 高精密度 회전을 달성했다.

10-2 자기(磁器) 헤드(head)

보통 유체막은 어느정도 두껍고 확실히 윤활되는 것이 바람직하지만, 전자 계산기의 자기 기억 장치용 헤드는 가능한 한 얇은 공기막 위에 뜨게 한다. 이유는 자성분(磁性粉)을 부착한 기록용 회전 원판과 자기 헤드의 간격은 좁은만큼 기록 밀도가 높고, 기억용량이 增大하므로 초기의 磁器헤드의 부상량(浮上量)은 數[μm]였으나, 0.2 [μm] 정도로 올라가고 있다.

그림39는 슬라이더라고 불리는 磁氣헤드 부상용(浮上用) 베어링으로, 슬라이더의 양측을 스큐우(skew)와 같은 폭이 좁은 평면 베어링으로

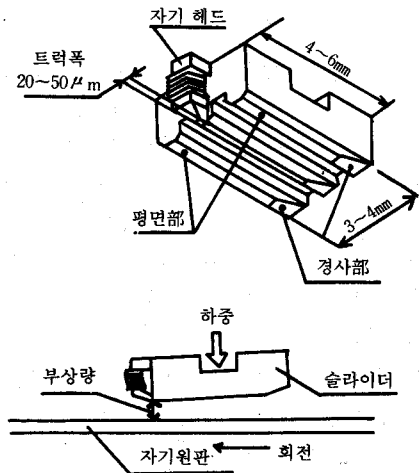


Fig 39. 자기 헤드의 슬라이더 형상

하고, 空氣流의 도입부에 경사가 저있다. 이 슬라이더는 자유로 경사가능하도록 板子스프링로 지탱하므로, 미첼型 드러스트 베어링이다. 板子스프링을 끼워서 수십[mN]의 하중을 가하면, 周速 10[m/s] 정도의 자기円板上에 0.2~0.3 [μ m]의 공기막을 만들어 띄운다. 슬라이더 중앙의 말단부에 부착한 헤드와 스쿠우 형상의 베어링部는 동시에 경면(鏡面)다듬질하고, 磁氣円板의 표면과 함께 굵기 0.01 [μ m] 정도의 평활면으로 한다.

磁氣円板의 기동정지時에는 헤드가 접촉하여 마모하므로, 弗素油系의 화학적으로 안정된 윤활제를 극히 얇게 도포(塗布)해서 수만回 기동정지에도 견디도록 한다. 또, 먼지가 들어가지 않도록 청결한 분위기에 둘러쌓임과 동시에 습도를 낮게 유지할 필요가 있다. 습기에 따라 헤드가 자기원판에 强하게 흡착하는 두려움이 있기 때문에, 이것은 매우 매끈한 면끼리 액체막을 끼워 눌러 붙일때에 보이는 현상이다.

10-3 空氣 패드(pad)

그림40는 공기압을 이용한 수십톤의 중량물의 운반장치이다. 공기 패드의 작용을 하는 원판狀의 4개 고무주머니를 받침대 아래에 부착하고 압축공기로 고무주머니를 부풀려서 하중과 조화시킨다. 고무 주머니의 직경D로 둘러쌓인 면적과 1~2[bar]의 공기압 크기와 동등한 하중을 유지하는 한편, 고무 주머니의 작은 구멍에서 나온 공기는 밑바닥面과의 틈새를 통과할때, 얇은 공기막에 의해 공기압의 밀봉 작용과 윤활 작용을 행한다. 평탄한 밑바닥面이 필요하지만, 실제로는 고무 주머니에 摺動자국이 생길 정도로 바닥面과 부분적인 접촉을 한다. 마찰계수는 10^{-3} 정도로 차륜으로 움직이는 트럭보다 가벼운 조작을 할수 있다.

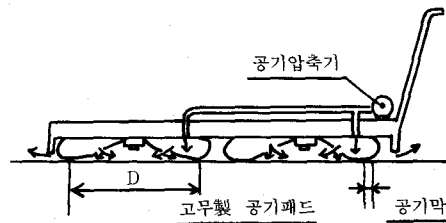


Fig 40. 공기 패드式 운반구