

다공질 정압 공기베어링의 현상과 응용

이 후 상
한국기계연구소 공작기계실장



●1944년생
●기계공학을 전공하였고 공작기계설계에 관심을 가지고 있으며 특히 초정밀 공작기계 개발에 참여하고 있다.

박 천 홍
한국기계연구소 공작기계실



●1960년생
●정밀기계공학을 전공하였고 윤활공학에 관심을 가지고 있으며 현재 초정밀 공작기계 개발에 참여하고 있다.

1. 머리말

최근 半導體, 컴퓨터 레이저, 映像, 情報 등의 분야에서 눈부신 발전은 그 기반을 부품의 형상 및 운동정도의 超精密化에 두고 있다. 따라서 超精密加工이나 運動시의 動力傳達機構에 있어서의 베어링은 단순한 하중지지, 운동구속의 역할을 벗어나 시스템 자체부품의 形狀精度, 組立精度를 초과할 수 있는 高精度의 運動創出 및 制御機構로서의 역할이 요구되고 있다.

空氣베어링은 축과 베어링사이의 좁은 間隙(clearance)에 空氣膜을 형성시켜 하중을 지지하는 미끄럼베어링의 일종으로써 비접촉에 의한 低摩擦特性은 고속화에 적합하여 이전부터 原子爐用 터어보기계, 航空宇宙用 gyroscope 등에 응용되어 많은 실효를 거두었으며 또하나의 고유한 특성인 空氣膜의 平均化効果에 의한 운동정도향상은 高速回轉性과 더불어 超精密加工 및 超精密運動에의 응용에도 많은 이점을

지니고 있다.

그림 1은 限界加工精度의 년대별 추이를 나타낸 것으로⁽¹⁾ 1950년대의 초정밀가공 정도는 0.1 μ m대로서 가공정도에 영향을 미치는 가공기의 主軸베어링은 高精度의 구름베어링으로도 가능하였으나 1960년대 이후에 들어서는 0.01 μ m대까지 발전되고 있으며 이것은 靜壓空氣베어링의 연구 활성화와 시기적으로 일치하고 있어 超精密化에 있어서의 정압 공기베어링의 역할을 입증해 주고있다.

本稿에서는 정압 공기베어링 가운데 剛性, 負荷容量, 高速安定性 등의 면에서 탁월한 성능을 기대할 수 있는 多孔質空氣베어링을 중심으로 하여 정압공기베어링의 特徵, 研究經過, 應用例, 現象 및 問題點 등에 관해 간략히 소개하기로 한다.

2. 靜壓空氣베어링의 特徵

2.1 原理 및 分類

정압 공기베어링은 외부의 給氣源으로 부터

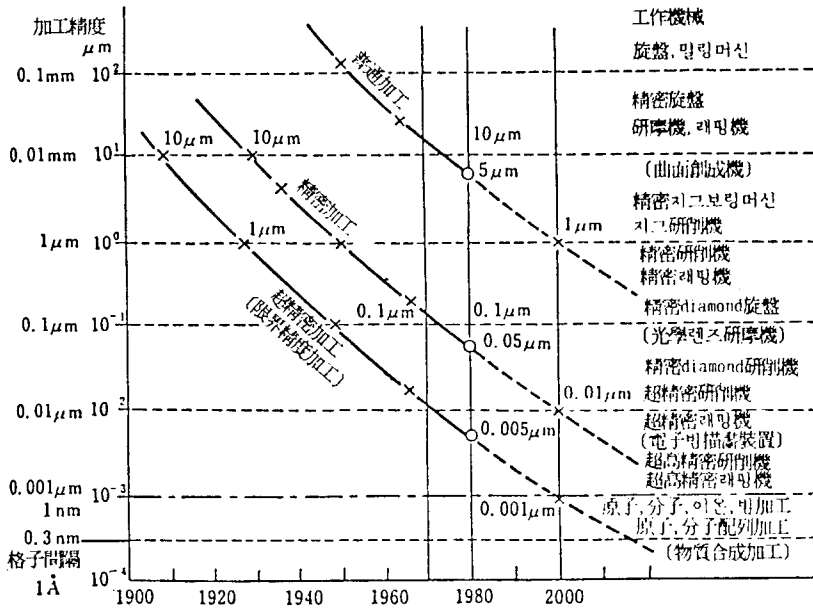


그림 1 限界加工精度的 年度別 推移

가압된 공기를 補償要素(restrictor)를 거쳐 베어링 間隙에 강제공급시켜 空氣膜을 형성, 부하를 지지하므로 회전시의 썩기효과에 의해 부하를 지지하는 動壓空氣베어링에 비해 상대적으로 높은 부하용량을 갖게 되며, 그 때의 강성은 축의 변위에 의해 생기는 差壓성분의 변화에 의해 주어지게 되므로 그림 2와 같이 보상 요소에 의한 고정저항(R_r) 및 간극의 변화에 의한 가변저항(R_c)에 의해 지배되는 것으로 나타낼 수 있다.

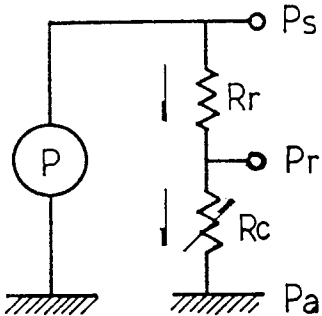


그림 2 靜壓 空氣베어링의 等價電氣回路

로 나타낼 수 있다.

그림 3은 정압 공기베어링을 분류한 것으로 고정저항을 주는 補償方式에 따라 몇가지로 나눌 수 있다. 오리피스 補償形은 給氣孔내에 오리피스를 설치하여 저항을 주는 것으로 가장 일반적인 방식이나 微小급기공의 어려운 단점이 있으며 自成補償形은 給氣孔出口와 베어링 間隙으로 형성되는 圓環狀의 부분에 의해 저항을 주는 방식으로 오리피스방식에 비해 가공은 용이하나 강성이 가장 낮은 결점이 있다. 슬롯補償形은 급기공 또는 베어링면에 슬롯을 가공하고 슬롯부에서의 공기의 粘性抵抗을 이용하는 방식으로 오리피스, 자성보상형등의 點狀給氣형태에 비해 높은 강성을 얻을 수 있다. 表面補償形은 베어링표면에 放射狀의 얇은 슬롯을 다수 설치하고 슬롯내에 급기공을 설치하여 급기공으로부터 加壓空氣를 유도, 슬롯 단부에서의 段差效果에 의해 저항을 주는 방식으로 間隙 및 슬롯의 깊이를 작게해야 한다는 단점이 있으나 강성, 감쇠성등에서 장점이 있다.

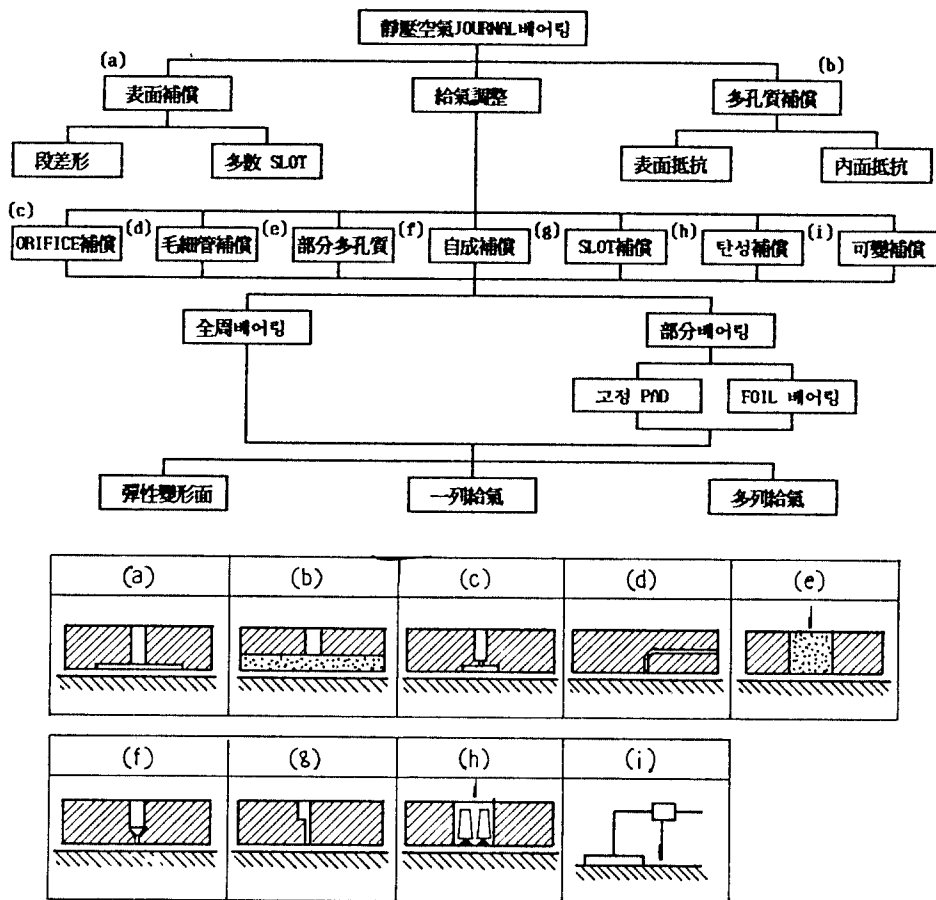


그림 3 靜壓 空氣저널베어링의 분류

多孔質補償形은 보상요소로서 다공질재료를 부분적으로 또는 베어링면 전체에 이용하는 방식으로 다공질내의 저항은 수많은 오리피스보상요소의 집합으로 볼 수 있어 부하특성상에 큰 잇점을 지니고 있으며 고저저항방식중 가장 이상적인 형식이라 할 수 있다. 이 외에도 고강성을 목표로 하는 可變補償形은 대향되는 굽기공부위의 압력상태를 하드웨어적으로 검출, 압력을 보상해주는 방식⁽²⁾과 간극의 변위를 소프트웨어적으로 보상해주는 방식⁽³⁾이 있는 데 강성을 거의 무한대로 할 수 있는 장점이 있으나 공기의 압축성에 의한 베어링성능의 動的不安

定性 및 補償回路의 不安定性이 문제로 남아 있어 油靜壓베어링과 같이 실용화되고 있지는 못하다.

2.2 長點

(1) 低摩擦, 低토크

그림 4는 직경 25mm 정도의 소형베어링에서의 베어링형식에 따른 動力損失을 비교한 것으로⁽⁴⁾ 정압 공기베어링은 공기의 점성이 매우 작아 마찰저항이 적고 저속영역에서는 마찰을 무시할 수도 있으므로 回轉運動의 경우 토크 미터등에 적합하며 直線運動의 경우 stick-slip

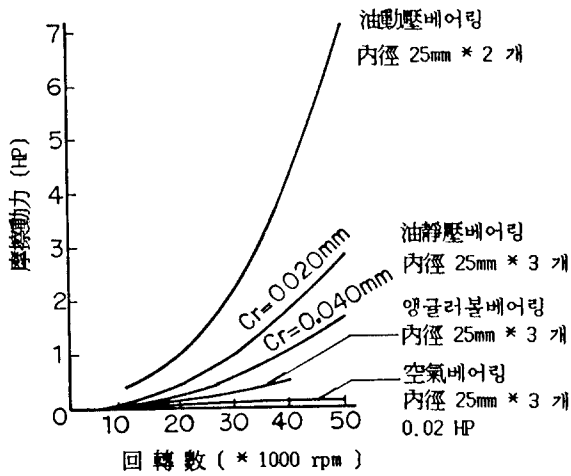


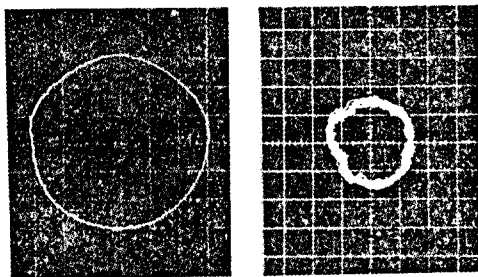
그림 4 베어링형식에 따른 動力損失

이 없으므로 搬送裝置, 精密直進案内에 많이 이용되고 있다.

(2) 高精度

공기베어링은 공기막에 의한 베어링 滑動面의 기하학적오차의 平均化效果를 얻을수 있어 비교적 쉽게 0.1 μ m대의 精度를 낼 수 있다. 즉 축과 베어링의 가공면에 있어서의 파의 고주파성분이 間隙에 유입된 공기에 의해 여과기 되며 저주파성분에서는 平均化 시켜주는 작용을 하여 가공정도에 비해 1/5~1/20까지의 운동정도가 가능하므로 測定器, 工作機械, 電子機器등의 精密機械에 응용되고 있다.

그림 5는 靜壓空氣베어링과 로울링베어링을



(a) 靜壓 空氣베어링 (b) 로울링베어링

그림 5 베어링형식에 따른 回轉精度의 비교

이용한 主軸의 回轉精度를 측정한 것으로써(4) 精度는 물론 軸心軌跡에 있어서도 空氣베어링이 우수함을 알 수 있다.

(3) 高速回轉性

비접촉에 의한 동력전달은 저마찰과 함께 저발열특성을 파생시켜 고속회전을 가능하게 하므로 高周波모터, 터보機械, 가스터빈, 工作機械등에 응용되고 있다.

(4) 其他

이 밖에 靜壓空氣베어링의 장점 및 응용분야를 정리하면 다음과 같다.

- 低振動, 低騒音특성 : 音響, 映像機器, 測定器
- 長壽命, 無保守 : 原子力機器, 宇宙機器
- 청결한 작동환경 : 纖維機械, 食品機械
- 放射能중에 사용가능 : 原子力機器, 터보機器

3. 多孔質 靜壓 空氣베어링

3.1 特性

多孔質 베어링은 燒結材등의 通氣性이 있는 다공질재료의 내부에 공기를 통과시켜 저항효과를 준다. 일반적으로 정압 공기베어링은 급

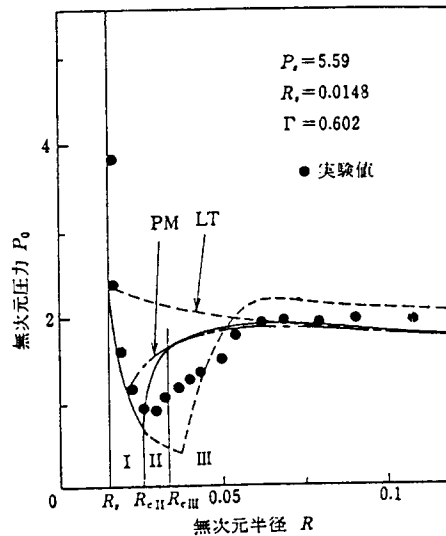


그림 6 自成補償形 空氣베어링의 壓力分布

기공이 많을 수록 성능이 좋으므로 무수한 오리피스를 설치한 것과 같은 효과를 갖는 다공질베어링은 가장 이상적인 급기형태로 볼 수 있으며 그림 6⁽⁵⁾과 같이 통상의 공기베어링에서 나타나는 충격과에 의한 급기공부근의 급격한 壓力降下를 피하고 전 간극에 걸쳐 공기막의 壓力分布를 상대적으로 매끄럽게 해줌으로써 부하능력을 높여준다. 또한 제작면에서도 燒結用 金型의 초기비용은 들지만 정도가 엄한 보상요소의 가공이 필요없이 多量生産에 가장 적합하다.

3.2 研究經過

1955년 英國의 Montgomery와 Sterry⁽⁶⁾는 다공질재료를 이용하여 직경 20mm의 축을 25,000rpm으로 회전시키는 데 성공함으로써 多孔質 空氣베어링의 실용가능성을 제시하였으며 Robinson과 Sterry⁽⁷⁾는 저널베어링의 길이를 무한대로 가정, 해석해를 구함으로써 첫 이론해석을 시도하였다. Sneck와 Yen⁽⁸⁾은 攝動法을 이용, 베어링길이에 대한 가정이 없이 非回轉 저널베어링을 이론적으로 해석하는 데 성공하였으며 그 결과를 살펴보면

- (1) 流量은 偏心率의 변화에 별로 영향을 받지 않는다.
- (2) Constantinuscu의 유한길이 베어링의 해석에 의한 부하용량은 베어링이 가질 수 있는 최대부하용량과 같다.
- (3) 無次元 荷重係數는 베어링 길이에 의해 상당한 영향을 받는다.

(4) 베어링 剛性은 偏心率의 영향을 거의 받지 않으며 영향을 받는 경우에는 偏心率의 증가에 따라 약간 증가한다.

등으로 多孔質 베어링에 관한 기초적인 성능예측을 확립하였다. 한편 다공질내의 흐름에 대한 이론적인 모델은 그림 7과 같이 크게 세 가지 유형으로 분류될 수 있는데 Majumdar 등⁽⁹⁾은 다공질내의 3次元 흐름 및 투과율(permeability)의 이방성을 고려하여 差分法을 이용, 이론적으로 해석함으로써 베어링치수, 투과율, 다공질두께, 급기율등의 영향을 고려한 정상상태의 특성을 해석하였으며(그림 7(a)) 森, 矢部⁽¹⁰⁾는 다공질내에 透過率과 等價의 間隙을 가상설정하고(그림 7(b)) 실험에서 透過率을 구하는 방법을 통해 이론해석을 수행하였다. 岡野 등⁽¹¹⁾은 다공질면의 가공시에 나타나는 눈막힘(chocking)현상을 고려한 해석을 위해 다공질내의 저항이 표면의 눈막힘에 의한 저항에 비해 무시될 수 있도록 작다고 가정하고 표면의 저항을 다수의 오리피스저항과 等價로 하여 모델을 설정하였다(그림 7(c)). 그림 8(a) 및 8(b)는 각각 다공질 저널베어링에 대한 森, 岡野의 해석결과로서 각 투과율에 있어서 부하용량을 최대화 하는 간극이 존재함을 보이고 있다.

安定性에 관한 연구로 Sun⁽¹²⁾은 1차섭동법을 이용, 정지상태에서의 원판형 스톱스트 베어링에 대해 이론해석을 하였으며 주요결과로는

- (i) 공기의 불안정성은 윤활제의 압축성에 의해 나타난다.

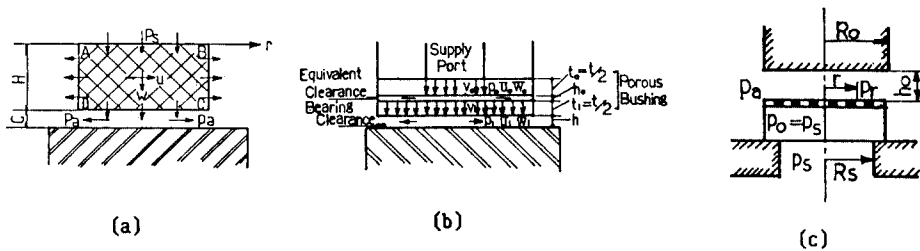


그림 7 多孔質 靜壓 空氣베어링의 flow model

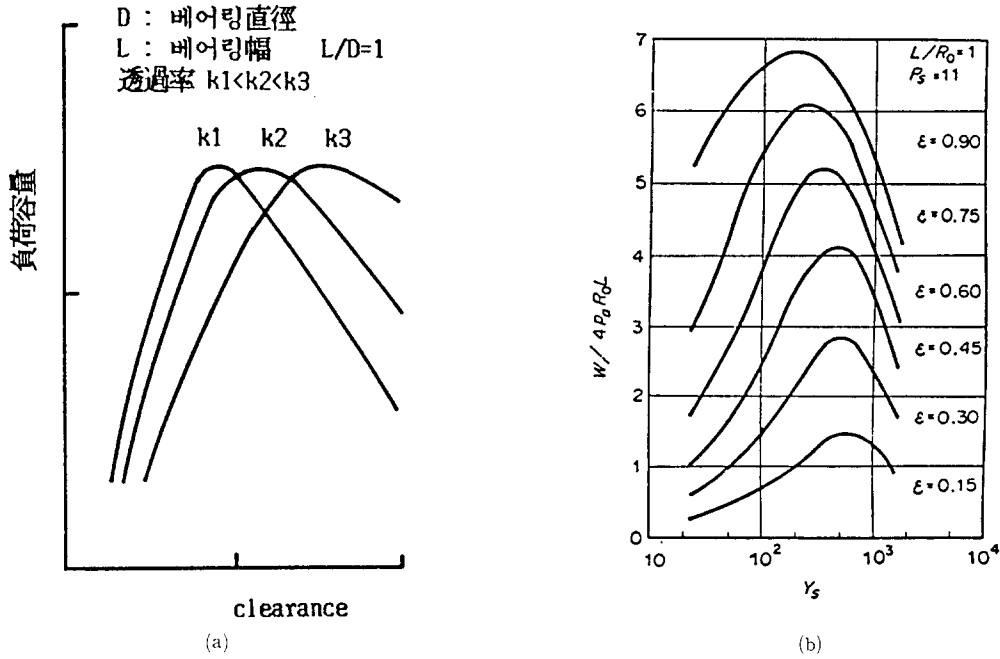


그림 8 多孔質 靜壓 空氣베어링의 부하특성

(ii) 다공질재료의 무게 및 두께가 작을수록, 공급압력이 낮을수록 안정한계는 증가한다.

등이며 Gorez⁽¹³⁾는 같은 형상을 대상으로하여 Liapunov's direct method를 적용, 해석함으로써 다공질 재료의 두께 및 有效氣孔率(porosity)를 감소시킬수록 안정한계는 증가한다는 결과를 발표하였다. 한편 森, 矢部⁽¹⁴⁾는 등가 간극모델을 이용, 회전 저널베어링의 각 변수에 대한 회전비(whirl speed에 대한 회전속도의 비)를 계산함으로써 공급압력을 증가시킬수록 회전비도 증가한다는 결과를 얻었으며 이와 함께 오리피스보상형과의 정성적인 비교도 하였다. 그림 9는 그 결과를 나타낸 것이다. Sun⁽¹⁵⁾은 같은 형상에 대해 Galerkin's 방법을 이용하여 회전 및 공기해머(pneumatic hammer)의 線形安定理論을 구축하였으며 결과로 임의의 기공률에 있어 저속영역에서 회전비가 매우 낮아짐을 지적하였다. Majumdar^(16,17)는

차분법을 이용, quasi-static의 가정하에 방정식을 1次攝動에 의해 선형화하여 회전 및 공기해머의 安定영역을 구하였다. 이상^(12~17)을 비교할 때 결과에 따라 다소의 차이는 있으나 氣孔

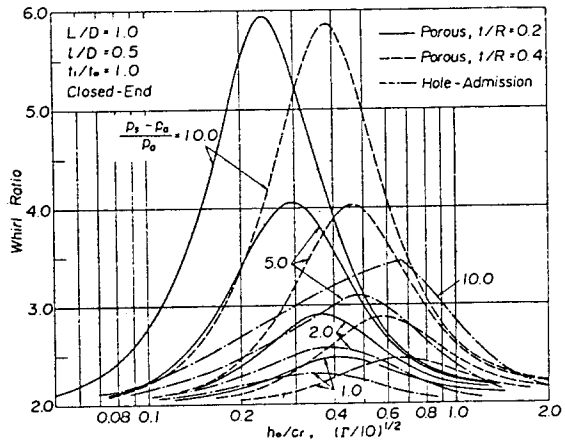


그림 9 회전비의 계산결과

표 1 多孔質 空氣베어링의 研究經過

年度	研究者	研究機關	모델	대상	研究內容
1955	Montgomery, Sterry		Journal	回轉特性	實驗 (dia. 3/4 in, 250,000rpm)
1958	Robinson, Sterry		Journal	靜特性	무한길이 베어링의 非回轉時 性能해석 및 실험
1960	Sheinberg, Shuster		Thrust	靜特性	圓板形非回轉베어링의 해석
1962	Constantinescu	I.F.M. Roumania	Journal	靜特性	다공질의 영향을 고려한 유한길이 베어링의 해석
1964	Sneck, Yen	General Motors	Journal	靜特性	攝動法을 이용한 非回轉 베어링의 해석
1965	Sneck, Elwell	General Motors	Journal	靜特性	非回轉 베어링의 성능실험
1965	矢部寬, 森美郎	京都大學	Thrust	靜特性	Annular disc의 해석
1967	Sneck, Yen	General Motors	Journal	靜特性	回轉 베어링의 해석
1968	矢部寬, 森美郎	京都大學	Journal	靜特性	等價 clearance model을 이용한 해석
1968	Gargiulo, Gilmour	du Pont	Thrust	靜特性	差分法을 이용한 annular 베어링의 해석
1973	D.C. Sun	General Motors	Thrust	安定性	非回轉 板形베어링의 공기 햄머해석
1973	Gorez	Univ. Louvain	Thrust	安定性	Liapnov법을 이용한 圓板形 베어링의 해석
1974	矢部寬, 森美郎	京都大學	Journal	安定性	等價 clearance model을 이용한 회전안정성 해석
1974	D.C. Sun	General Motors	Journal	安定性	Galerkin법에 의한 공기 햄머 회전의 線形이론
1974	岡野晋, 十合晋一	日本電總研	Thrust	靜特性	베어링면의 chocking현상을 고려한 해석 및 현상
1975	Majumdar, Schmidt	Univ. Karlsruhe	Thrust	靜特性	3차원 흐름을 고려한 長方形 베어링의 差分解
1975	Majumdar	Indian Ins. Tec.	Journal	靜特性	差分法을 이용한 回轉베어링의 해석
1975	D.C. Sun	General Motors	Journal	靜特性	Newton-Raphson의 반복법에 의한 回轉베어링 해석

1976	Majumdar	Indian Ins. Tec.	Journal	안정성	差分법을 이용한 회轉베어링의 회전안정성 해석
1976	岡野 晋, 十合 晋一	日本電總研	Journal	靜特性	Chocking을 고려한 非回轉베어링의 差分解 및 실험
1979	Majumdar	Indian Ins. Tec.	Journal	안정성	差分법을 이용한 공기행머안정성 해석
1983	Chang, Wang, Sun	B.I.A.A. China	Thrust	안정성	圓板形 베어링의 공기행머안정성 실험
1964	Sing, Rao, Majumdar	Indian Ins. Tec.	Journal	靜特性	Velocity slip 을 고려한 회轉베어링의 差分解

率의 감소는 동적안정영역을 증가시킨다는 공통된 결론을 얻을 수 있다.

이 밖의 연구로 Singh등⁽¹⁸⁾은 베어링과 다공질표면사이에서의 미끄름 유동을 고려한 저널 베어링의 정특성을, 차분법을 이용하여 이론해석하였으며 그 결과 미끄름 유동에 의해 소비 유량은 증가하며 부하용량은 給氣係數가 작으면 감소하나 커지면 오히려 증가한다는 결론을 발표하였다.

표 1은 이상의 研究經過를 연대별로 정리한 것으로 고강성, 고부하용량의 특징에 착안하여 1950년대 후반부터 본격화되기 시작한 다공질 베어링의 연구는 英國의 原子爐産業, 美國의 航空宇宙産業에 있어서의 동압공기베어링을 중심으로 한 氣體潤滑기술의 축적 및 氣體베어링 國際會議(1959~)등의 활성화에 힘입어 1960년대에는 베어링형상에 따른 유동모델, 베어링내의 압력특성, 부하용량, 강성등의 정특성 및 기초설계기술이 이론적으로 확립되었으며 1970년대에 들어서는 때맞춘 컴퓨터의 보급과 함께 실용상의 문제점으로 대두된 베어링안정성을 주 연구테마로한 이론, 실험적 연구가 활발히 진행되었다. 특히 1970년대 중반을 기점으로한 베어링안정이론의 정립은 계측기, 정밀공작기계를 중심으로 한 실험 및 개발연구에 박차를 가했으며 그 결과로 기술축적기간을 거

친 1980년대 초반이후 각종 응용연구 및 개발 사례가 보고되고 있다. 따라서 금후의 연구테마는 베어링성능의 정량적예측을 중심으로한 성능향상대책 및 새로운 응용분야의 확대로 이어져 나아갈 전망이다.

3.3 應用例

(1) 工作機械

그림 10은 研削機主軸에의 응용으로써 연삭시의 부하에 대한 강성을 크게 하기 위해 가공물측의 베어링직경을 크게 하였으며 DC모터에 의한 구동으로 10,000rpm에서 0.5um이하의 회전정도를 보였다.

그림 11은 du Pont에 의해 개발된 超精密密半

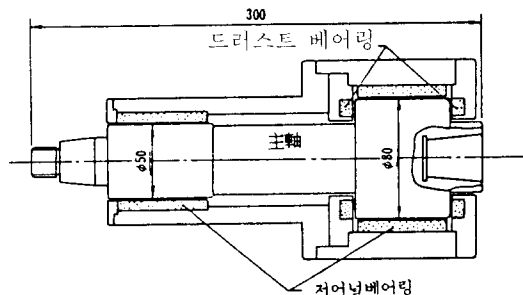


그림 10 研削機主軸에의 응용예

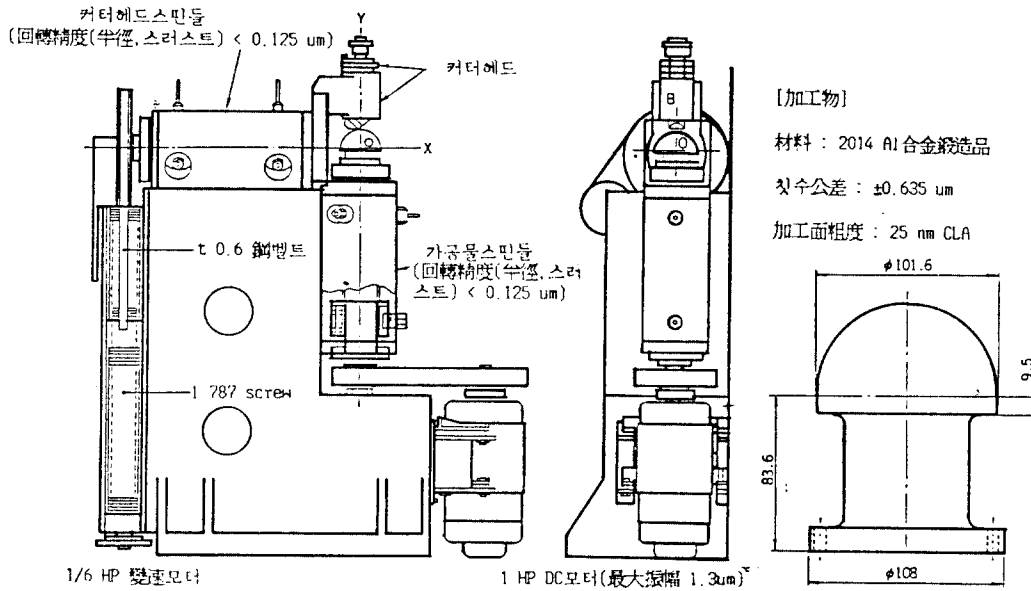


그림 11 超精密加工機에의 응용예

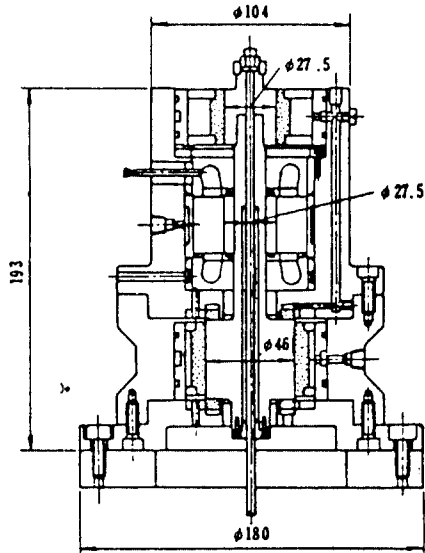


그림 12 高周波 모터에의 응용예

도 0.025um CLA로 가공하였다.

(2) 高周波 모터

高周波 모터는 高速, 低토크의 성능이 요구되므로 空氣베어링이 많이 이용되고있다. 그림 12는 수직驅動用 高周波 모터로, 고속회전에 따른 自動振動의 대책으로 O-링에 의한 탄성 지지법을 이용하여 80,000rpm까지의 회전이 가능하였다.

(3) 計測器

계측기로써는 높은 회전정도를 필요로하는 眞圓度測定器와 회전테이블, 低토크특성을 필요로 하는 토크 미터등에 많이 응용되고 있다. 그림 13은 테이블 회전식 진원도 측정기에의 응용으로써 저널間隙 10um, 급기압력 6kgf/cm의 조건에서 24dkg/um의 강성을 보였으며 회전정도는 0.04um MZC이하였다.

(4) 터보機械

그림 14는 超流動 헬륨發生用 極低溫 排氣펌프에의 응용으로써 軸驅動에는 空氣터빈을 이용하여 70,000rpm으로 회전시켰다. 이 밖에도 主軸단위제품, 直進案内, 醫療機器등에도 응용

球面加工機 (du Pont 1호기)로 주축에는 多孔質燒結 혹은 3-pad방식의 空氣베어링을 사용하였으며 다이아몬드공구를 사용, 직경 101.6mm의 Al합금을 치수精度 +0.6um, 面粗

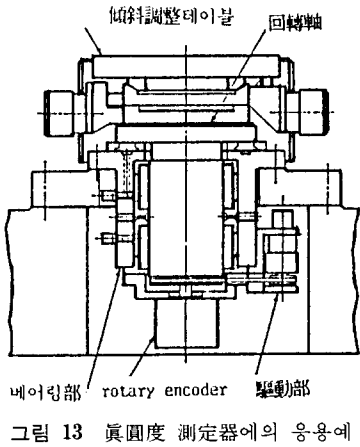


그림 13 眞圓度 測定器에의 응용예

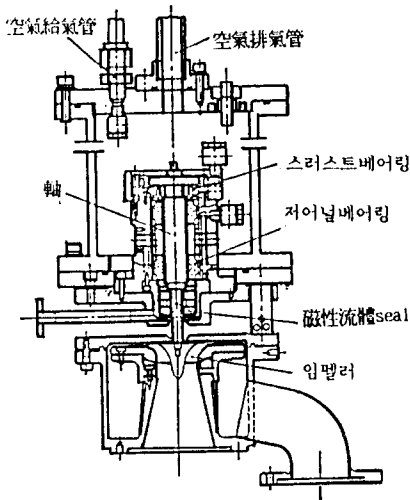


그림 14 超流動 헬륨 發生用 極低溫 펌프에의 응용예

되고 있는 데 주축단위의 경우 회전구동계의 영향을 최소한으로 줄이기위해 DC brushless 모터를 主軸에 내장한 direct drive 방식으로 조립, 光디스크 또는 光磁氣디스크의 原盤제조장치 및 검사장치에 주로 이용되고 있으며 直進案內的 경우는 計測器, 工作機械등의 直線運動機構로써, 醫療機器로는 齒科用드릴등에 많이 이용되고 있다.

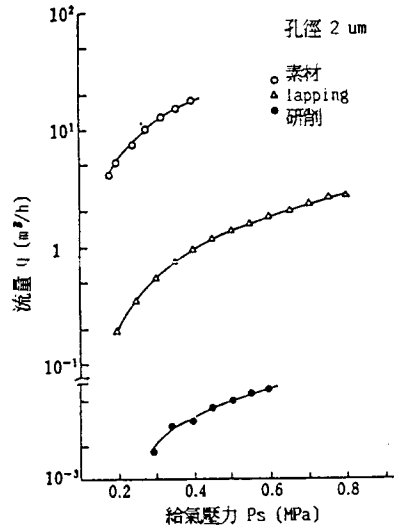


그림 15 기계가공에 따른 多孔質材料의 유량특성

3.4 主要現狀 및 問題點

(1) Chocking現象

일반적으로 다공질재료는 燒結成形되므로 표면의 상태가 매우 거칠어 수십 μm 의 간극을 요하는 공기베어링에 사용하기 위해서는 별도의 기계가공을 필요로 한다. 靑銅과 같은 金屬多孔質材를 기계가공하는 경우 절삭된 입자는 재료표면의 孔속에 눌러붙어 chocking현상을 일으킴으로써 通氣率을 저하시켜 베어링의 성능을 감소시킨다. 이에 대한 대책으로는 세라믹과 같은 취성재료를 이용하는 방법과 기계가공조건에 적절한 변화를 주어 chocking을 제거하는 방법등이 있는데 세라믹의 경우 재료의 孔徑이 크면 chocking은 일어나지 않지만 취성에 의해 가공면의 粗度가 나빠지며 반대로 孔徑이 너무 작으면 chocking을 제거하지 못하는 문제가 있어 베어링면에 요구되는 가공정도에 따른 적절한 孔徑의 선택이 문제가 된다. 가공조건에 변화에 의한 방법으로는 그림 15⁽¹¹⁾에서와 같은 研削에 의한 通氣率의 감소를 래킹으로 회복시키는 방법이 있는데 가공정도를 비교적 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있으나 수동

적인 通氣率의 制御가 필요하므로 동일한 성능의 제품을 얻기 어렵다는 단점이 있다.

(2) 공기 해머

油베어링등과는 달리 空氣베어링에서는 공기의 압축성에 의해 유입유량과 유출유량의 位相非遲延에 기인하는 自動振動인 공기 해머 현상이 발생한다. 즉 유입된 공기가 베어링내에 머물러 時間遲延을 일으키며 배출되는 현상이므로 베어링내에 공기가 머무를 용적이 큰 수록 발생하기 쉽다. 그림 16, 17⁽⁷⁾은 이에 대한 안정한계를 이론해석한 것으로 공급압력 및 氣孔率이 클 수록 발생하기 쉬움을 보여주고 있다. 이에 대한 대책으로는 우선 공기가 머물만한 용적 즉, 포켓등은 설치하지 않는 것이 좋으면 氣孔率이 작은 재료를 사용하고 공급압력을 가능한 한 작게 해야 한다. 또 공기 해머의 安定限界는 베어링 정강성과 상반된 경향을 보이므로 두 변수를 고려한 최적의 설계조건을 구할 필요가 있다.

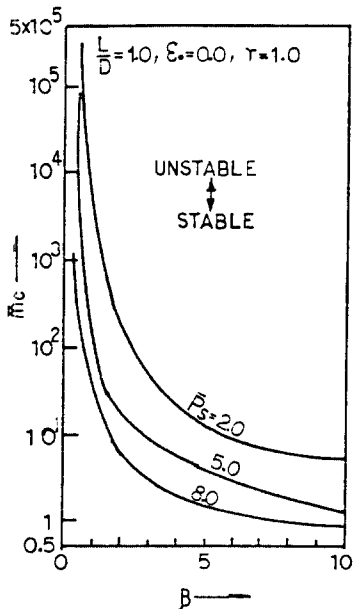


그림 16 공급압력에 따른 공기해머의 안정한계

(3) 회전

저널베어링에서 축의 회전속도가 시스템의 危險速度에 2배에 가까워지면 회전에 의한 動壓效果로 減衰力이 상대적으로 약화되어 시스템이 불안정, 심한 진동을 일으키는 현상이다. 그림 18은 회전의 발생기구를 표시한 것으로 회전하는 축에 하중 W 가 작용하여 위치 0° 에서 평형상태로 있을때 축의 외란에 의해 위치 0 로 변위하면 베어링내에서는 평형위치 $0'$ 로 축을 되돌리려는 힘 F_{FR} 이외에도 축을 회전 방향으로 선회시키려는 힘 F_T 가 발생하여 축은

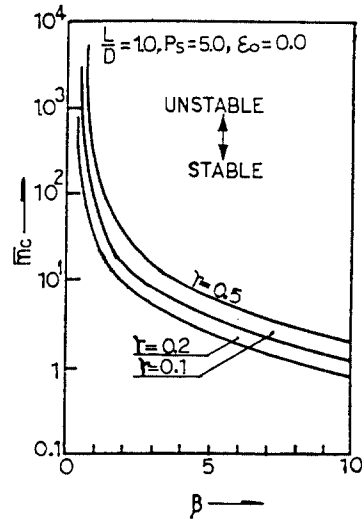


그림 17 氣孔率에 따른 공기해머의 안정한계

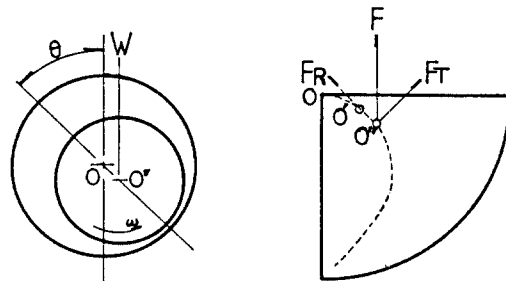


그림 18 회전의 發生機構

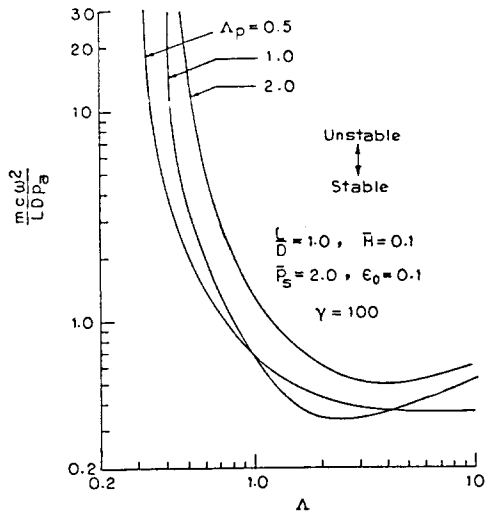


그림 19 회전수에 따른 회전현상의 안정한계

0°의 주위를 선회하게 된다.

정압공기베어링에 있어서도 동압효과는 존재하므로 회전현상은 발생하게되나 정압에 의한 구심력이 크므로 동압공기베어링에 비해 상대적으로 고속영역까지 안정하게 된다. 그림 19은 다공질 靜壓 空氣베어링의 회전安定限界를 이론 해석한 것⁽¹⁶⁾으로 베어링회전속도에 따른 等價質量의 안정한계를 나타내고 있다. 회전에 대한 안정화대책으로는 우선 축의 경량화에 의한 한계속도의 상승을 들 수 있으며 베어링계의 구조변화에 의한 방법으로 O-링지지에 의한 방법, 베어링의 2중 구조에 의한 방법등도 있다.

3.5 앞으로의 研究課題

다공질 靜壓 空氣베어링은 앞서 본 바와 같은 특성 및 문제점들을 안고 있으며 보다 최적화된 성능의 예측 및 설계, 광범위한 응용을 위해서는 다음과 같은 몇 가지 문제점의 해결이 필요하다.

- (1) 다공질 材料의 均質性 확보
- (2) 다공질 表面의 研削加工技術
- (3) 공기 해머에 대한 안정영역예측 및 이를

고려한 高剛性베어링의 설계

- (4) 高速영역에서의 회전안정한계의 상승, 發熱, 遠心力 및 慣性力의 영향

4. 맺음말

本稿에서는 靜壓 空氣베어링의 特性 및 多孔質 靜壓 空氣베어링의 現狀, 問題點등에 대한 개괄적인 소개를 하였다. 이상에서와 살펴본 바와 같이 靜壓 空氣베어링은 高速, 高靜度를 요하는 각종 산업용기기의 부품으로써 연구개발, 응용되어 왔으며 결과적으로 기술한계극복에 많은 기여를 하였다. 앞으로의 尖端技術을 위주로 한 각종 加工, 測定分野에 있어서도 空氣베어링은 많은 역할을 할 것이며 특히 多孔質베어링을 중심으로한 高剛性 靜壓 空氣베어링에 대한 기대는 매우 크다고 할 수 있다.

참고 문헌

- (1) 鈴木弘, 1981, 機械の研究, 33-4.
- (2) 水木洋, 松原十三生, 畑直秀, 薄木雅雄, 1989, 日本精密工學會誌, 55-1, p. 135.
- (3) 渡邊一郎, 青山尙之, 下河邊明, 1988, 日本精密工學會誌, 54-2, p. 329.
- (4) 鳥昭彦, 1983, 機械設計, 27-1, p. 40.
- (5) 春山義夫., 1988, 氣體潤滑, シンポジウム豫矯集, 日本潤滑學會, p. 5.
- (6) Montgomery, A.G. and Sterry F., 1955, AERE ED/R, 1671, Harwell, Berkshire, England.
- (7) Robonson, C.H. and Sterry F., 1958 AERE ED/F, 1672, Harwell, Berkshire, England.
- (8) Sneek H.J. and Yen, K.Y., 1964, ASLE Trans, Vol. 7. p, 288.
- (9) Majumdar, B.C. and Schmidt J., 1975 WERE, 32-1, p. 1
- (10) 森美郎, 矢夫寛, 1973, Trans. ASME,

- Jr. of Lub. Tech., p. 195.
- (11) 岡野眞, 十合晋一, 1974, 日本電子技術總
合研究所集報 38-11, p. 666.
- (12) Sun, D.C., 1973, Trams ASME, Jr of Lub.
Tech., p. 457.
- (13) Gorez, R. 1973, Trans. ASME, Jr. of Lub.
Tech., p. 204.
- (14) 森美郎, 矢夫寛, 1914, 6th Int. Gas
Bearing Symp., Paper No. C8.
- (15) Sun, D.C., 1975, Trans. ASME. Jr. of Lub.
Tech., p. 494.
- (16) Majumdar, B.C., 1976, 7th Int. Gas Bear-
ing Symp., Paper No. A2
- (17) Rao, N.S. and Majumdar, 1979, Trans.
ASME, Jr. of Lub. Tech., p. 48.
- (18) Singh, K.C. Rao, N.S. and Majumdar, B.
C. 1984, Trans. ASME, Jr. of Tribology, p.
156.



국제학술대회참가안내 UK 1990

—19th International Congress on High Speed Photography and Photonics—

주 관 : The Association for High Speed Photography U.K.

The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers U.S.A.

분 야 : High Speed Photography and Photonics

일 시 : 1990년 9월 16일 22일 (7일간)

장 소 : Churchill College, Cambridge, England.

일 정 : 1989년 11월 1일 (500단어 내외 영문초록 제출)

제 출 처 : Mr. P. W. W. Fuller, Assoc. High Speed Photography 47 Madeira Avenue, Bromlcy,
Kent, BR1 4AR, England

Tel : 01-464-4680

*기타 자세한 내용은 브이·텍 이계선 사장 [(02) 865-6487], 한국기계연구소 문정기 박사
[(042) 820-7342]로 문의 바람