

# 구름 베어링 개발 및 연구동향

## 1. BEARING에 요구되는 技術

베어링은 상대운동을 지지하거나 및 안내하는데 사용되는 부품으로 이의 특성은 원활하게 회전(또는 운동)할 수 있어야 하며 이와 관련된 내구성이 우수해야 하고 또한 신뢰성이 높아야 한다는 것이다.

원활한 회전을 하기 위해서는 정밀도 높은 진원가공을 할 수 있어야 하며 이 특성은 베어링이 양산품이라는 관점에서 경제성있는 생산을 해내야 하는 요구조건이 있다. 양산가공 기술로는 궤도륵에 해당하는 것으로 단조, 전조, 선삭, 연삭 가공기술이 있으며, 부품과 관련해서는 압출, 압조, 사출 가공기술이 있다. 이와 맞물려 양산 조립기술, 공작기계 제작 보수 기술, 정밀 측정기술이 필요하다고 하겠다.

베어링의 원활한 회전을 위해서는 윤활과 관련된 문제의 해결이 있어야 한다. 윤활은 좁은 의미의 윤활제 선정과 관련된 기술 뿐 아니라 윤활 시스템의 설계, 응용과도 매우 밀접한 관련이 있다. 윤활과 관련된 기술로는 그리이스, 윤활유의 선정, 마찰을 감소 시키기 위한 코팅기술, 윤활에 방해가 되는 이물의 침입방지와 윤활제 누설방지를 위한 시일링과 관련된 기술이 있으며, 윤활유의 냉각특성, 윤활특성을 극대화 하기 위한 윤활 시스템의 설계기술 및 해석기술이 있다.

베어링의 주요한 요구 특성의 하나는 그 이름(Bearing)에서도 나타내고 있지만 내구성이다. 이는 시스템 전체의 보수 유지에 관련된 사항이기도 하며 경우에 따라서는 시스템 전체의 수명 또는 신뢰성을 좌우하는 요소이기 때문이다. 내구성이 높은 베어링을 만들어내기 위해서는 소재의 특성을 개량하는 연구와 관련이 있다. 소재 MAKER와 관련된 소재의 청정화, 균질화에 대한 연구와 재질 및 표면 특성을 개량시키기 위한 열처리, 표면처리에 대한 개량연구가 꾸준히 진행되고 있다. 베어링의 내구성은 앞서 언급한 윤활에 대한 연구와도 밀접한 관련이 있다. 이들 연구에 대한 내용은 다음 절에서 별도로 소개 하기로 한다.

베어링의 성능향상을 위한 또 하나의 중요한 기술이 베어링의 설계 및 품질보증에 대한 기술이다. 이 특성은 베어링을 해석하는 기술과 관련이 있는 데 소음, 진동과 관련된 기술 및 탄성 해석 기술이 그 범주에 속한다. 품질 보증에 대한 이러한 기술은 베어링 단품에 대한 해석은 물론 주변 시스템에 대한 해석을 수반하며 사용자의 요구조건에 맞는 특별히 관리된 소 LOT 생산 추세와 관련되어 관리 및 보증에 대한 기술이 요구되고 있다.

# BEARING 關聯 技術

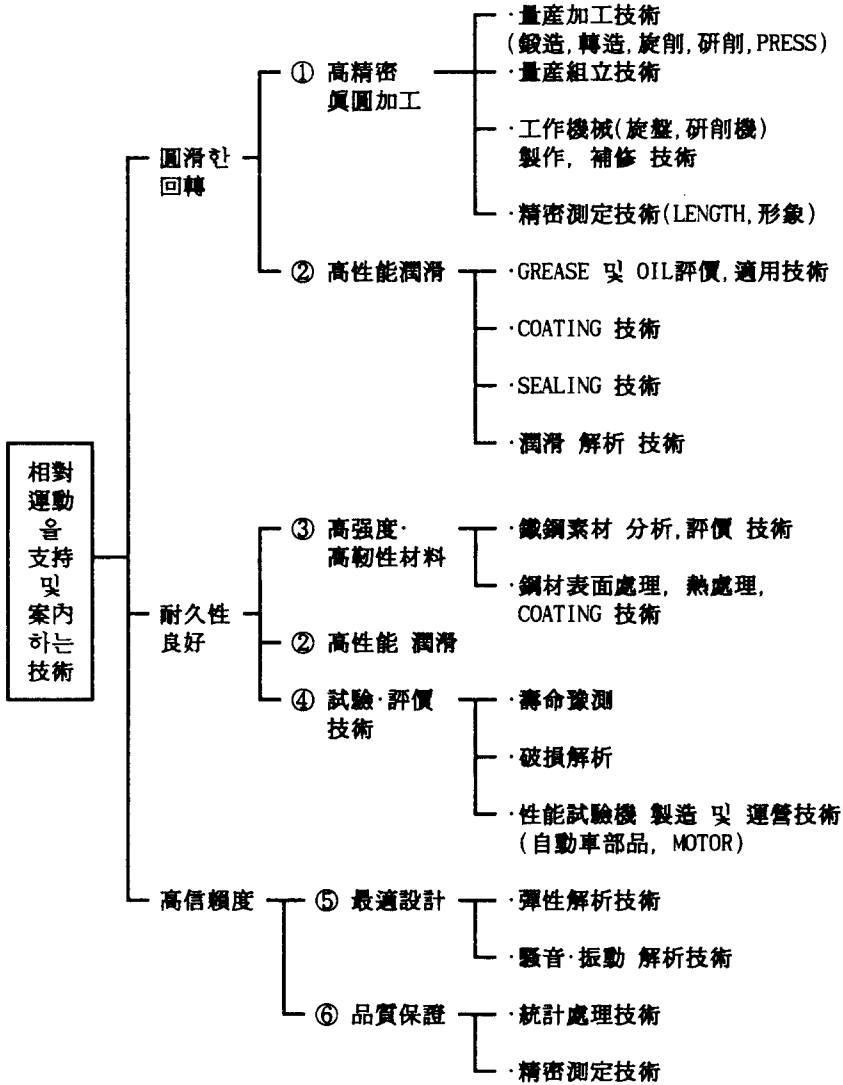


그림 1. 구름 베어링 관련 기술

## 2. 기존 베어링의 한계 극복 노력

베어링에 관련된 기술의 발전은 새로운 적용 분야의 확대와 기존베어링 사용에 대한 개선요구에 의해서 발전 방향이 설정되고 있다. 현재 베어링이 안고있는 문제점에 대한 대응 방안은 베어링이 수명 한계, 사용온도한계, 속도의 한계를 극복하기 위한 기본 성능 향상의 측면과 부식분위기, 진공 분위기, 청정분위기 등 특수환경에 대응하기 위한 신제품 기술개발이 있다. 이외에 기존 베어링의 고기능화 및 다기능화 방안이 새로운 형태의 베어링의 개발 이슈로 대두되고 있다.

수명의 한계를 극복하기 위한 방안으로는 기존 베어링강의 재질개량, 특히 강종의 비금속 개재물의 함량을 줄여 소재 MATRIX 내부의 불연속 부분을 없애는 방법이 계속적으로 진행되고 있으며 베어링 강을 특수하게 열처리 또는 표면처리하여 접촉면에 압축잔류응력을 형성시켜 피로 파손에 강하도록 하는 연구가 많은 성과를 나타내고 있다. 이러한 시도들은 근래에 장수명 베어링이라 하여 상품화시도가 활발히 이루어지고 있다.

사용온도의 한계극복을 위한 대응은 사용소재의 변경을 통한 방법이나 열처리 방법의 개량에 의해 이루어지고 있다. 사용온도 한계를 극복하기 위한 간편한 방법은 저온 안정화처리 또는 고온 안정화 처리를 통한 방법이 경제적인 방법으로 사용되고 있으며 더 나아가 스테인레스강, 고속도강 등으로 철강 소재를 변경한 베어링도 제작되어 판매되고 있다. 이들 방법을 이용하여 대략 500℃ 까지는 사용이 가능하며 더욱 고온으로 된다면 세라믹 베어링이 사용되어야 한다. 현재까지 세라믹 베어링은 약 800℃정도가 실용적으로 사용할 수 있는 제품인 것 같다.

속도의 한계를 극복하기 위해 기존 구름 베어링으로서는 시스템의 가공정밀도와 윤활 시스템의 설계가 관건인 것 같다. 항공기 가스터빈용에는 약 250만 dn 정도가 실용화되고 있다 하며 근년 일본의 H-II로켓의 액체수소 터보펌프 베어링의 경우 극저온이고 윤활이 매우 불리한 장소임에도 120만 dn 정도로 운전되었다고 보고하고 있다. 초고속의 경우에 윤활은 젯트오일 분사식이 사용되며 궤도에 흠을만들어 윤활시키는 UNDER RACE 윤활 방법도 사용되고 있다.

속도 극복의 또 하나의 방법은 비접촉 베어링이다. 비접촉 베어링은 공기(가스) 베어링, 자기베어링, 초전도베어링 등이 있다. 이들 베어링은 접촉을 하여 운동하지 않기 때문에 마찰의 문제가 없으며 그리하여 윤활제도 필요하지 않다. 이들 베어링은 일부 적용 시도는 되고 있으나 아직도 기술적으로 해결해야 할 문제가 많다. 장래에는 많은 공작기계나 고속터빈 등 많은 부분이 이러한 베어링으로 실용화 될 것으로 기대된다.

\* dn : 축경치수(mm) X 회전수(RPM)

기존의 기름 베어링은 기본 소재가 철강재료로 되어 있으므로 녹이나 부식의 문제에 있어서는 거의 무방비 상태이다. 내식용도의 베어링은 표면처리나 스테인레스 강종으로 제작되고 있기는 하나 부식성 가스, 강산, 알칼리 등에서는 적극적인 방식(防飾)에 문제가 있다.

특수환경중의 하나가 진공환경이라고할 수 있다. 진공 환경은 진공을 필요로 하는 진공조 내부에 사용되는 기기나 우주공간에 사용되는 우주항공용 기기가 처하는 환경이 될 수 있다. 진공환경은 통상으로 사용되는 일반 윤활제는 모두 증발해 버려 일반 윤활제로는 윤활을 할 수 없으며 공기가 없으므로 대류에 의한 방열효과가 없으므로 마찰면의 온도상승이 커진다. 이런 진공 환경 중에는 증기압이 낮으며 온도에 따른 특성변화가 작은 윤활제가 사용된다. 일반적으로는 윤활제로 PFPE가 사용되기도 하며 고체윤활제가 사용되기도 한다. 고체윤활제로는 연질 금속(납, 금, 은 등)이나 이황화물리브덴, 이황화 텅스텐, PTFE 등이 사용된다.

근래에 반도체, 정보기기, 측정기기, 의료기기 등 첨단분야에서는 청정환경(청정룸)이 필요하다. 이에 대응하기 위해서는 진공의 경우와 비슷하게 증기압이 낮은 윤활제 및 고체윤활제 적용이 적합하다. 공기베어링 등 비접촉 베어링의 적용도 있으며 자성유체를 이용하는 방법도 사용되고 있다. 이 경우에는 분진의 발생을 저지하는 것이 매우 중요하다.

표 1. 청정 환경에서의 각종 윤활법의 특징

	고체윤활 표면개질	저증기압 유사용	비접촉 베어링
사용재료	MOS <sub>2</sub> , Al, Au 코팅 C, B+, N+ 이온주입	PFPE 자성유체	기체베어링 공기베어링 자기베어링
장점	1. 기름분산이 없다. 2. 필터사용(대책용이)	1. 토오크 변동 小 2. 베어링수명이 길다. 3. 보수가 편리	접촉에 의한 발진업습
단점	1. 마멸입자 발생 2. 토오크변동 大 3. 내습성불량 4. 대기, 진공에 모두 적합하기 어려움	1. 고온에서 증발 大 2. 마찰에의한 분해 3. 크리이프에의한확산	1. 고가 2. 구조가 복잡 3. 부가설비 필요
대책	1. 내마멸 윤활막 개발 2. 접착력 개선 3. 라비린스 시일	1. 윤활유 공급량제한 2. 자성유체베어링 3. 라비린스와 병용	1. 고온 초전도베어링 2. 부대설비 저렴화

표 2. 기존베어링의 문제점 및 보완 노력

현재의 문제점	베어링 종류	관련 기술	비고
수명의 한계	HL 베어링	특수처리기술	수명계산식의 수정 $L_{10}=a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 (C/P)^3$ 신뢰도, 재료, 조건
	RC 베어링	특수처리기술	
	장수명 베어링	고청정강, 장수명윤활제개발	
속도의한계	자기베어링	전자제어, 정밀가공기술	원심분리기:100만dn 항공기터빈:250만dn 자기베어링:5만rpm 가스베어링:7만rpm
	초전도베어링	초전도체개발, 정밀가공기술	
	공기(가스)베어링	정밀가공, 설계기술	
	세라믹베어링	신소재개발, 가공기술	
녹, 부식의 문제	스테인레스베어링	소재변경, 가공기술	수중 사용용도 해수중 사용용도 부식성 가스 분위기 강산, 알칼리분위기
	세라믹베어링	신소재사용, 가공기술	
	플라스틱베어링	엔지니어링 플라스틱	
고온사용	고온베어링	특수처리기술, 응용기술	열처리로, 킬른 우주선(-100~150℃) 세라믹베어링: 800℃
	세라믹베어링	신소재개발, 가공, 응용기술	
재급유, 고청정용	고체윤활베어링	고체윤활제합성, 성형기술	저증기압윤활제 (PFPE, 고체윤활제)
	자성유체베어링	자성유체제조, 응용기술	
고기능, 콤팩트	틸베어링유니트	정밀가공기술, 설계, 응용기술	주변부품과의일체화
	원웨이클러치	정밀가공기술, 설계, 응용기술	
고속화, 고기능화	장수명베어링	고청정강, 장수명윤활제개발	정밀급베어링(P2급) 토크 저감 설계 저소음 그리스 이물방지 대책
	저토크베어링	정밀가공, 설계기술	
	저소음베어링	정밀가공기술	
특수환경 (고진공, 방사선)	진공용베어링	고체윤활피막성형	저증기압 윤활제 특수 재질사용
	세라믹베어링	신소재개발, 가공기술	

### 3. 베어링의 유니트화 ( 휠베어링 유니트 )

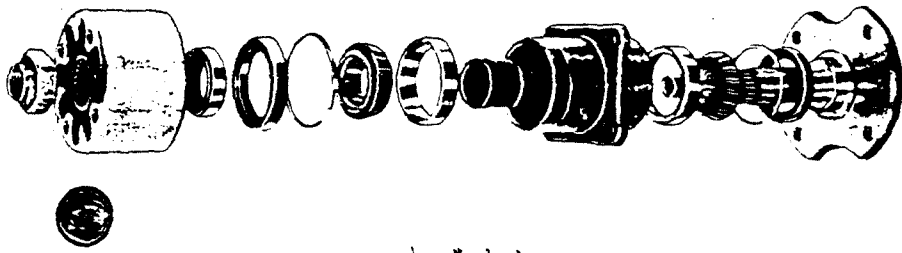
1960년대 부터 자동차의 차축베어링은 테이퍼드 로울러 베어링의 배면 조합 형태로 사용되고 있다. 이 베어링은 예압에 의하여 초기하중이 주어지며 (대부분 이) 그리이스로 윤활되고 있다. 이 베어링은 초기 예압의 조정에 매우 세심한 주의가 필요하며 예압조정을 위한 스페이서가 사용되기도 한다. 근년에 들어서 이들 베어링은 보다 간편한 보울베어링 유니트로 바뀌고 있다.

보울베어링유니트는 70년대 초반부터 서구에서 개발진행되어 온 형태로 차축용 베어링의 부품간단화 및 부품교환시 예압조정의 필요가 없게하기 위해서 특별히 설계되고 관리된다. 또한 보울베어링을 기본적으로 채용하고 있기 때문에 베어링 파손시 파손 경고 기능이 있다. 그림 2.에 테이퍼드 로울러 베어링과 휠베어링 유니트사용시 부품수의 비교를 나타낸다. 그림에서 보는 바와같이 휠베어링 유니트 채용시 부품수의 감소가 현격하다.

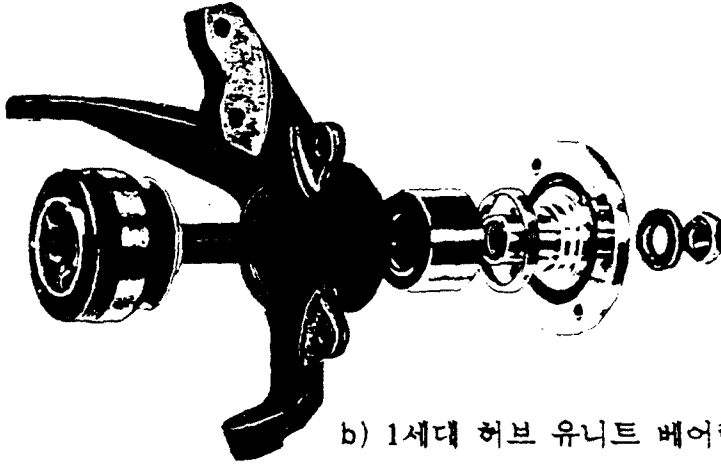
휠베어링 유니트의 종류는 그 기능의 복합도에 따라 1세대 2세대, 3세대, 4세대로 분류된다(그림 2. 참조) 1세대 베어링은 복렬앵글러 컨택트 보울 베어링의 형태로 초보적인 형태이다. 2세대 베어링의 경우 외륜 플랜지가 1개붙은 형태로 주로 중동륜에 사용된다. 3세대 베어링은 플랜지가 2개붙은 형태로 구동륜 및 중동륜에 모두 채용될 수 있다. 4세대 베어링은 베어링에 C.V. JOINT 가 복합된 형태로 구조가 복잡하여 주변부품과의 일체화를 극대화 시킨 형태이나 베어링의 크기가 커지고 자체의 교환비가 많은 점 등으로 사용량은 많지 않다.

최근의 자동차 휠베어링 유니트는 차량이 독립현가방식을 채택하고 있기 때문에 복렬베어링 형태로 사용되며 유니트 베어링 중 앵글러 컨택트 보울베어링형태의 보울베어링 유니트의 사용량이 세계적으로 90%정 도라 한다. 앵글러 컨택트 보울베어링은 회전시 휠베어링에 걸리는 하중을 지지할 수 있는 큰 하중점간 거리 (SPREAD)를 가지고 있으며 경방향 및 축방향 하중을 지지하기에 충분한 정도의 전동체 수를 가지고 있다. 반면 테이퍼드 베어링 유니트의 경우 경방향 부하능력은 크지만 하중점간 거리가 보울베어링에 비해 크지 않아 모멘트 하중에는 불리하다.

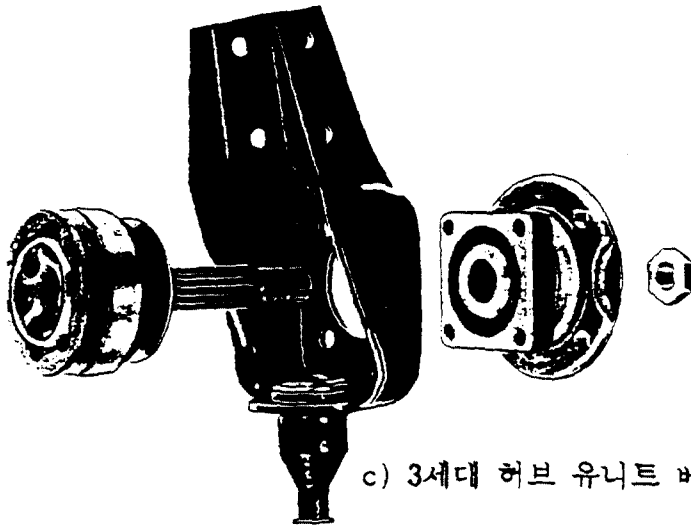
자동차의 휠베어링 유니트는 유니트 베어링을 채용하면서 주변의 ABS SENSOR 링을 장착하기도 하여 주변 부품의 일체화를 계속 이루어내고 있으며 2세대 이상의 베어링 유니트에서는 플랜지 부의 연성 및 피로저항성을 위해서 베어링강 이외의 재료를 사용하여 궤도부만 고주파 처리하는 방법을 채용하고 있다. 이 재료는 베어링 강과 같이 비금속 개재물을 특별히 제어한 강종이어야 하는데 국내에서는 사용량이 많지 않아 현재까지는 수입에 의존하고 있는 실정이다.



a) 테이퍼드 로울러 베어링 사용의 경우

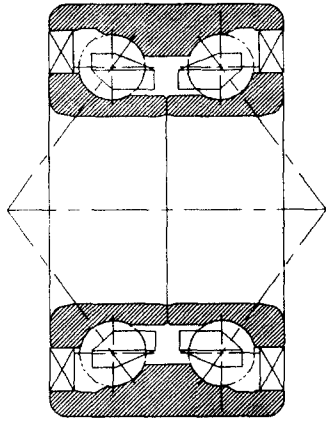


b) 1세대 허브 유니트 베어링 사용의 경우

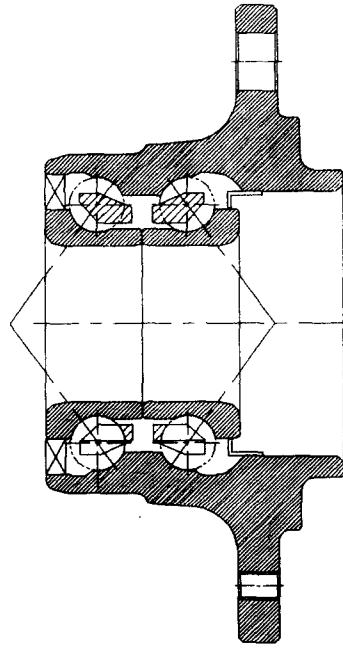


c) 3세대 허브 유니트 베어링 사용의 경우

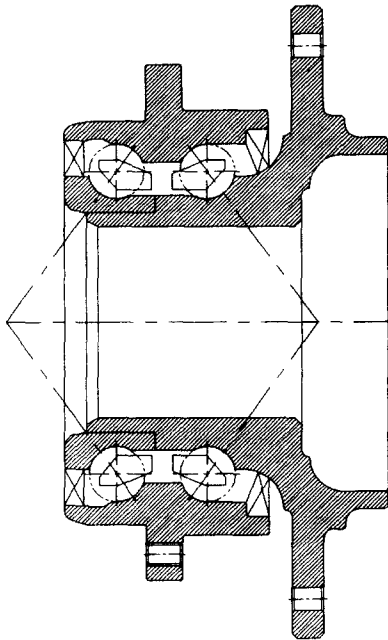
그림 2. 테이퍼드 로울러 베어링과 휠(허브) 베어링 유니트 사용시 부품수 비교



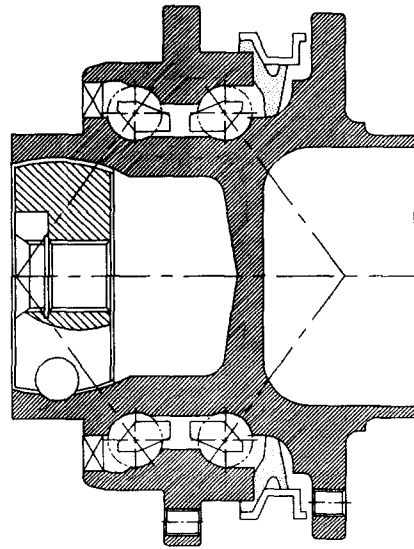
a) 지 1 단계 베어링



b) 지 2 단계 베어링



c) 지 3 단계 베어링



d) 지 4 단계 베어링

그림 3. 휠베어링 유니트의 종류



#### 4. 신소재 베어링 (세라믹 베어링)

세라믹 베어링의 개발은 파인세라믹스 제품의 성능향상과 더불어 이루어 졌다. 세라믹 재료는 이미 알고 있는 바와 같이 강재에 비해 내식성, 고온특성이 뛰어나 그 인성과 품질의 균질성만 충분히 확보될 수 있다면 꿈의 소재인 셈이다. 이에 더하여 베어링 재료로서는 비중에 작음으로 인한 고속특성에 유리하며 전기적으로 부도체, 자기적으로 비자성체이므로 경면가공 접촉부분에서 발생하는 전식의 문제, 자장에 의한 영향을 효과적으로 해결할 수 있는 재료이다. 또한, 세라믹 재료는 접촉부 표면 특성에 의하여 무윤활로도 작동이 가능하다.

표 3. 세라믹 베어링의 특성

	세라믹	베어링강	세라믹의 특성
내 열 성	800℃	120℃	고온에서 사용 가능
밀 도 (g/cm <sup>3</sup> )	3.2	7.8	고속회전에 유리
경 도 (Hv)	1800	750	내마모성 우수
마 찰 (무윤활)	작다	크다	무윤활로도 사용가능
자 성 (磁 性)	비자성	강자성	강자계에서도 원활한 작동
탄성계수(kgf/mm <sup>2</sup> )	32000	21000	접촉변형이 작음
절 연 성	절연체	도전체	전식방지, 고전압.전류 사용부위에 적합
내 식 성	양호	불량	해수 및 산분위기에서 사용 가능

세라믹 베어링은 기존 베어링의 형식과 동일하게 제작할 수 있지만 초기 소재의 성형과 관련되어 크기의 한계는 있다. 특히 고온 정수압 프레스 공법에 의하여 제조되는 경우 이런 제한은 더욱크다. 세라믹 베어링은 일반 베어링과 마찬가지로 재료의 가공을 필요로하며 가공성은 기존 재료의 수십에서 수백분의 일 정도로 가공이 매우 어렵다. 또한 일단 성형된 재료는 소성가공이 불가능하기 때문에 재료의 손실도 많은 편이다. 또한 세라믹 재료는 제조 LOT 크기가 작고, LOT 제어 방법이 복잡하기 때문에 제품의 산포가 큰편이므로 품질의 산포가 있다. 이와 같은 이유로 해서 세라믹 베어링의 단점은 가격이 매우고가이며 품질의 산포가 있는 것이다.

## 5. 새로운 형식의 윤활제 (자성유체 베어링)

자성유체는 1960년대 중반 NASA의 S. PAPELL이 발명한 것으로 초기에는 유주복과 헬멧의 연결 부위에 사용하였다 한다. 자성유체는 FERRO-FLUID 또는 MAGNETIC FLUID라고 불리우고 있는 자석에 의해 이끌리는 일종의 유체로 이 유체가 자석에 끄리는 현상은 그림 4. 에 나타낸다. 이 유체는 약  $100 A^0$  정도의 강자성체 초미립자에 계면활성제와 용매를 분산시킨 것으로 안정된 콜로이드 상으로 존재하며 액체상으로 자석에 이끌리는 특성을 갖는다.

이 유체의 이용분야는 시일, 베어링, 비중차선별, DAMPER, VALVE, 스피커, 연마기, 프린터 잉크, 센서, 광서터, 의료분야, 촉매 등 이용분야는 매우 넓다. 이 유체들의 베어링에 응용하는 방법에 대하여 그림 5.에서 설명한다. 이 유체는 자성에 의해서 이끌리므로 이 유체가 베어링 내에서 작동하는 경우 베어링의 접촉부(자속밀도가 큰 부분)에 집중되어 타부분으로 이동을 구속할 수 있으므로 윤활의 면에서도 매우 유용하며 윤활제의 외부 유출도 효과적으로 방지할 수 있다. 또한 좁은 간극에 침투하므로 시일로 병용 사용되면 우수한 시일 성능을 발휘할 수 있어 진공관련설비, 청정조건에 많이 응용되고 있다.

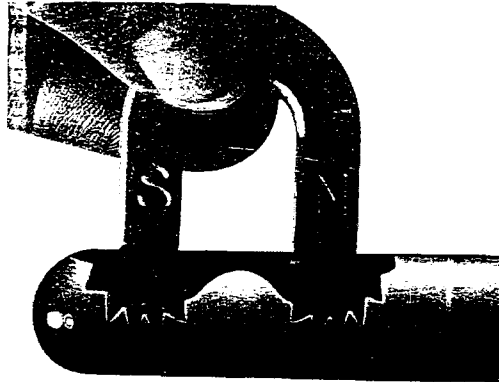


그림 4. 자성유체(자석에 이끌리는 유체)

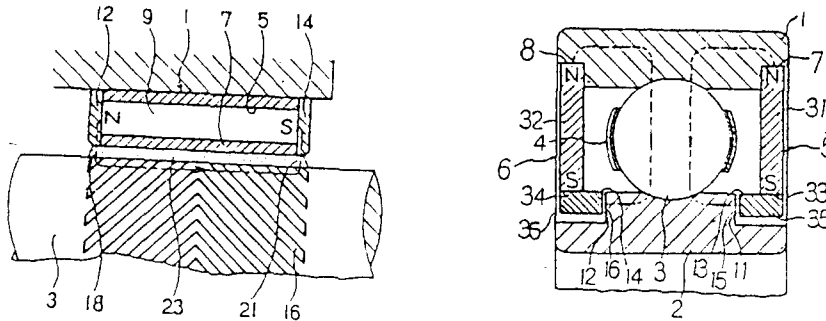


그림 5. 자성유체 베어링의 개략도