

구름 Bearing의 Tribology

金 柱 恒

韓田油化工業株式會社

1. 서 론

Bearing은 기계의 회전축에서 하중 및 회전축 자신의 중량을 지배하는 동시에 회전축의 운동을 정확하게 유지함에 있어서 대단히 중요한 구성요소 중의 하나가 되고 있다. 나아가 Bearing의 마멸을 방지하고 항상 정확한 회전을 유지하기 위하여서는 적당한 윤활제와 윤활방식이 필요하게 된다. 따라서 본 논고에서는 제목전에 대하여 간략하게 기술하여 보기로 하겠다.

2. 구름 Bearing의 종류

구름 Bearing의 종류는 Radial Bearing과 Thrust Bearing으로 대별하며, 여기서 Radial Bearing은 주로 Radial 하중을 받도록 설계되어 접촉각이 45도 이하인 것을, Thrust Bearing은 Axial 방향의 하중을 받도록 설계되어 접촉각이 45도를 넘는 것을 말한다. 구름 Bearing은 또한 전동체의 종류에 따라서 Ball Bearing과 구름 Bearing으로 분류되고 있다.

이 밖에도 전동체의 궤도륜(軌道輪)의 상대위치, 구조의 차이 및 전동체의 열수(列數) 등에 따라서 많은 형식으로 분류되고 있으며, 다음 그림 1은 Bearing 형식의 종류를 나타낸 것이다.

3. 요구되는 윤활의 특징

3-1. 마찰

구름 Bearing에는 기능상 순수 구름 접촉만을 기대하는 것이며, 원래에 있어서의 순수 구름이라는 것은 윤활제와 함께 유막에 의한 응력집중완화(應力集中緩和)로써 피로수명 연장에 활용정도로 마찰·마멸의 저하에 기여하는 매우 적다.

그러나 구름 Bearing에서는 이에 비하여 보다 많은 미끄럼 접촉부가 있어 윤활제는 오히려 이의 미끄럼 접촉부의 마찰·마멸을 방지하며, 또한 마찰열을 제거하기 때문에 사용되어지고 있다고 할 수 있다.

구름 Bearing의 마찰 Torque는 주로 고면압(高面壓),

미끄럼 접촉에 유래해서, 하중에 의존하는 하중항(荷重項)과, 고속에서의 윤활제가 소용돌이 가운데 혼합되거나 층돌에 유래하여, 속도에 비례하는 속도항(速度項)으로 대별되고 있다.

따라서 속도항은 Oil의 점도와 윤활방식에 주로 영향을 미치게 되며, 한계(限界) dn값도, 점도저항에 있어서 온도상승도 보지기(保持器) 안내면(案内面)에 Oil 공급 두절에 따라서도 중요하기 때문에 오로지 Oil의 점도와 그의 온도에 따른 변화에만 주어질 뿐 첨가제의 효과는 그다지 기대하기가 어렵다. 하중항의 현저한 저속고하중에는 혼합윤활의 영역에 있으며, 경계윤활 마찰계수가 큰것과 함께 경계윤활과 유체윤활의 비율, 다시말해 Oil의 점도, 면(面)의 상대속도 및 표면거칠기에 따라 영향이 크게 좌우된다.

3-2. 마멸

구름 Bearing의 마멸은 어지간한 up receive 이물의 혼입에 있어서도 표면화되지는 않으며, 또한 이러한 정도는 문제시 하지 않는다.

Bearing Oil이라는 것은 범용 Oil로 지칭하는 것으로서 Dithio 인산아연이나 인산 Ester 등의 마모방제를 배합하였기 때문에 일반적인 경우에 있어서는 충분하나, 다만 원추구름 Bearing의 단면(端面)과 내륜침간에는 비교적 마멸이 발생하는 경우가 있다.

특히 자동차 Rear Axle의 Hypoid Pinion 축에는 정위치예압(定位置豫壓)이 있기 때문에 과대한 마멸이 있으면 예압누락이 일어나서 Gear의 맞물림 정도가 유지하기 어렵기 때문에 Rear Axle에는 Hypoid Gear의 윤활을 위해, 윤활유에는 활성이 가장 높은 극압첨가제를 함유한 Gear Oil이 충전되어 있으므로 주행 중에 적당한 화학마멸에 의해서 양호한 결과가 되며, 예압도 일정값으로 떨어지므로써 공장출하시의 이러한 상황을 고려하여 예상예압을 설정함이 바람직하다.

다만 문제가 되는 것은 신차(新車)의 상태에서 Rear Axle내에 잔류하고 있는 up receive로 공장출하 단계에서 반출한 Oil은 Bearing 마멸시험의 값이 신유로 되는 것은 4000 km 주행 후, Oil의 10배를 나타내는 보고도

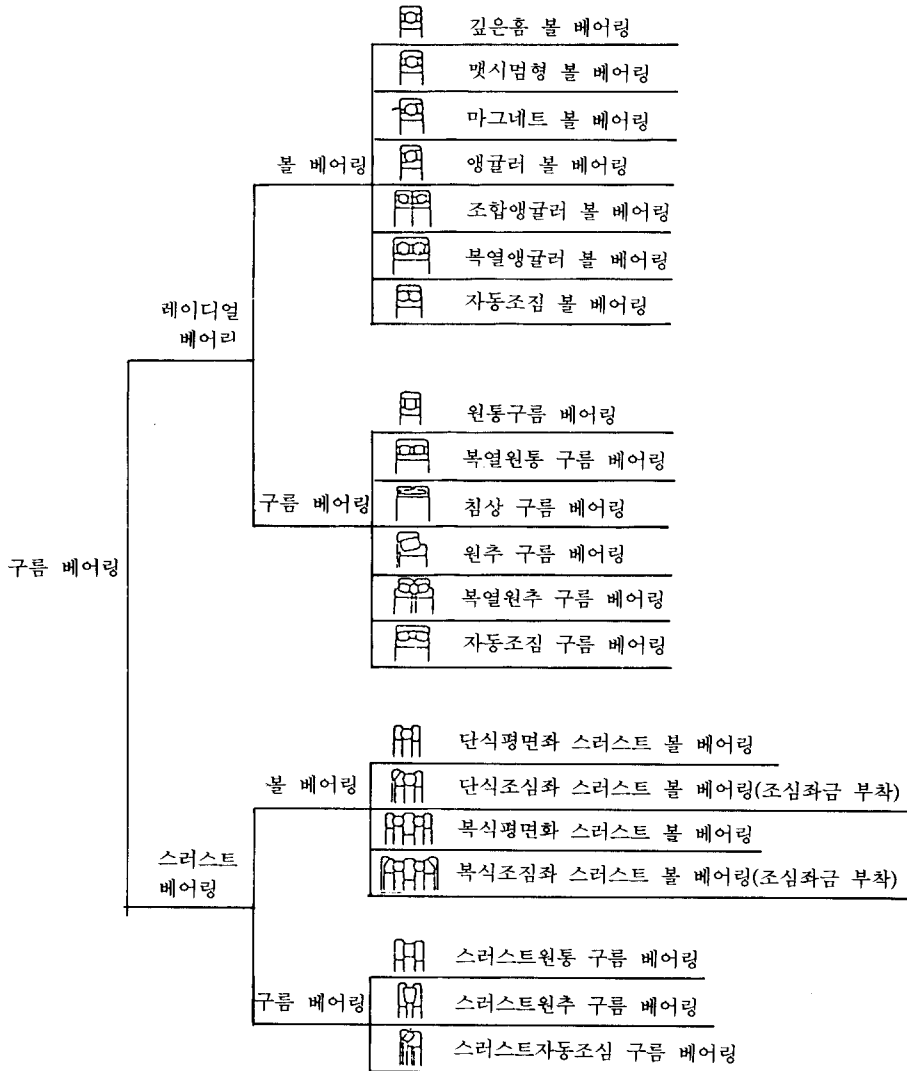


그림 1. Bearing 형식의 종류[1]

있다[2].

따라서 주행 후 비교적 빠른시간에 Oil 교환을 하는 것이 바람직하다.

3-3. 피로

구름 Bearing에는 마멸이나 소부(燒付)보다는 Breacking 등의 피로손상에서 사용불가능한 경우가 상당히 많다.

Lundberg, Palmgren이 피로수명의 계산식을 제출한 윤활의 효과를 고려하지 않았다. 그 후 EHL 이론의 발전에 의하여 유막 Parameter를 가하는 노력이 있었지만,

이론이나 실제에 있어서도 충분하지 못하였다.

다만 “적정점도”라고 하는 것이 주어졌을 뿐, Oil Bath으로서는 그의 점도유를 납입(納入)하고 그 후 Bearing 수명을 완수하기 까지 에 필요로 거치는 마멸이나 소부를 막는 첨가제를 배합, 윤활관리에 협력하였을 뿐, 첨가제나 기유의 화학구조면에서는 노력에 비하여 허사가 되었다. 그 후 각종 시험을 토대로한 해명이나 시도로 여러 가지가 있었으나 대표적인 것은 미국기계학회 (ASME) 윤활연구위원회가 종래 개개의 연구성과를 근거로 새롭게 실시한 433개의 실험예를 통계학적 해석을 가하여 얻어진 결과, 윤활제의 영향은 대단히 복잡하여

일반화하기에 매우 어렵고 또한 실용면에서도 근사값의 시험결과 뿐, 신용을 가질 수 있는 결과는 못되었다[3].

윤활제의 영향은 첨가제 등의 계면화학적 성질과 주로 Rheology인 Bulk의 물리적 성질로 나누어 생각할 수 있다.

첨가제의 작용은 같은 화합물에서도 농도에 의해 몇 배의 수명연장이 있다고 상상되지만, 농도를 증가하면 마이너스가 되어 수명은 몇분의 일도 될 수 있다. 또한, 이의 경향은 조건이나 금속재료와의 편성에 의해 역전한다[4]. 이것은 아무리 하여도 계면적(界面的)에 활성 성분이 금속접촉부에 표면막(表面膜)을 만들어 접선력(接線力)을 떨어뜨리는 Plus 효과와 Microcrack내에 친입하여 그의 진전(進展)을 돕는 마이너스 효과의 경합에 의한 것인 듯하다.

이에 대하여 물리적 성질의 점도효과는 EHL 이론으로부터도 밝혀졌고 실용적인 면에서도 확인되었지만, 마찬가지로 유막두께에 기여한다고 생각하는 점도-압력 계수에 있어서는 효과가 있다고 하는 것과는[5] 없다고 하는 것이 있다[6].

이것은 Traction Fluid에 사용되는 것과 같은 특수한 분자구조의 액체는 고압에서 점도가 급격하게 상승하기 때문에 유막형성이 주어지며, “실효점도증가” 효과도 유막내의 저항(Traction)이 높기 때문에 온도상승에 의해서 오히려 “실효점도저하”가 일어나는 것과의 경합에 의해 나타나고 있다고 본다.

4. 윤활 System의 설계

4-1. Bearing 마멸의 검토

구름 Bearing의 수명은 각종 재료(材料)의 구름피로에 의한 Breaking에 의하여 결정되어진다. 이의 수명은 하중을 지탱하여 회전하는 한 어떤 조건에서도 피할 수 없는 수명이다. 이 밖에 Bearing 윤활제의 열화, 밀봉 장치의 마멸에 의한 윤활제의 유출, Contamination의 침입 등에 의하여 Bearing 내부가 마멸하여 Bearing 기능을 완전히 상실하게 되는 마멸수명이 있다. 마멸수명은 음향, 진동, 마찰, Shaft 흔들림의 증대, 정도(精度)의 열화 등과 같은 현상으로 나타낸다. 이것은 넓은 의미로써 Bearing 수명이라고 부르고 있으며, 이의 마멸수명은 많은 Bearing의 사용실적을 기초로 하거나, 혹은 정도추정(精度推定)으로서 가능하게 된다[7, 8].

4-2. 밀봉장치의 선정

Bearing 밀봉장치의 역할은 Bearing 부분에 외부로부터 수분, 먼지, 이물, 마멸분 등 유해한 오염물질의 침입을 막아주고 윤활제가 누유하지 않도록 유지하는

표 1. Grease와 윤활유의 비교

특성	윤활 Grease	윤활유
윤활성	양호	우수
Bearing 냉각효과	없다	크게 할 수 있다
허용회전속도	윤활유보다 낮다	고속회전 가능
허용하중	중하중까지 사용	중하중까지 사용
밀봉장치와 housing 구조	간단하다	복잡하다
방진성	용이하다	힘들다
윤활제의 누유	적다	많다
보수면	용이하다	힘들다
윤활제의 교환	힘들다	용이하다
설비의 값	저렴하다	높다
운전비용	저렴하다	높다

것이다. 따라서 Bearing의 운전 중이나 정지 중에도 누유를 방지하고 밀봉 역할을 완수하며, 그 자신의 마찰을 적게하고, 그 밖에 분해(分解), 조립(組立)에서 보수가 용이하여야 하며, 가격이 저렴한 것이 필요하다.

이와 같은 이유로 Ball Bearing 즉 비접촉금속 Seal, 비접촉고무 Seal, 접촉고무 Seal 등에는 그의 생산갯수의 80% 정도가 Grease 밀봉형이 사용되고 있다.

일반적으로 밀봉장치는 Shaft 끝의 housing 덮개와 같이 움직이지 않는 부분의 밀봉과, 회전축과 housing 간에 미끄럼 운동부분이 있는 밀봉으로 나뉜다. 움직이지 않는 부분의 밀봉에는 O-ring이나 gasket를 사용하고, 움직이는 부분이 있는 밀봉에는 Oil 홀통, labyrinth 등과 같은 비접촉밀봉장치나 KS에 규정되어 있는 Oil seal과 같은 접촉형 밀봉장치가 쓰여지고 있다.

4-3. 윤활제와 윤활법의 선정

구름 Bearing이라고 불려지고 있는 것도 Bearing 내부에는 구름운동 뿐만 아니라 전동체(Ball or Roller)에 있어서도 패도 위를 구르는 것이므로 미끄럼이 되는 것이며, 더불어 탄성 접촉면 가운데를 자세히 살펴보면, 이 또한 미끄럼 운동을 하고 있다.

또한 구름의 단면과 테두리면 간에, 보지기(保持器) pocket와 전도체간에 보지기안내면(保持器案内面)과 궤도륜(軌道輪) 사이에는 원래부터 미끄럼 접촉면으로서 설계되어지고 있다. 따라서 구름 Bearing은 충분한 윤활을 필요로 하며 이의 목적은 다음과 같다.

(1) Bearing 내부 운동부분의 소음을 방지하고, 마찰과 마멸을 감소한다.

(2) 구름면(Rolling 面)에 탄성유체 윤활유막을 형성시켜 구름피로에 의한 Breaking 수명을 연장한다.

표 2. Grease의 종류와 성질

(1) Li & Na Grease

품명 증주제 기유 성능	Li-Grease			Na-Grease (화이바 Grease)	
	Lithium Soap				Natrium Soap
	광 유	Diester Oil 다가 ester Oil	Silicon Oil	광 유	
적점, °C	170~190	170~190	200~150	170~200	
사용온도범위, °C	-20~110	-50~120	-50~160	-20~120	
허용회전수, %	70	100	60	70	
기계적 안정성	양호	양호	양호	양호	
내압성	중간임	중간임	약함	강함-중간	
내수성	양호	양호	양호	불량	
방청성	양호	양호	불량	양호-불량	
비고	각종 구름 Bearing 용으로써 용도가 가장 넓다	저온특성, 마찰특성 이 우수하다. 계기용 소형 Bearing, 소형 전동기용 Bearing에 적합함	주로 고온용에 사용. 고속 고하중 조건이 나 미끄럼 부분에는 많은 Bearing(구름 Bearing 등)에는 적합하지 못함	장섬유상과 단섬유상 이 있다. 장섬유상의 Grease는 고속에는 사용하지 않는다. 물이나 높은 온도 조 건에 대하여서는 주의를 요한다.	

(2) Ca, 혼합기, 복합기 및 비비누기 Grease

품명 증주제 기유 성능	Ca-Grease	혼합기 Grease	복합기 Grease Complex Grease	비비누기 Grease (Non-Soap)	
	Calcium Soap	Na+Ca Soap Li+Ca Soap 등	Ca 복합 Soap Al 복합 Soap 등	bentonite, Silicagel, Carbon black, 불소화합물 Polyurea, 내열성 유기화합물 등	
	광 유	광 유	광 유	합성유(diester, 다가 ester, Silicon, Fluoro carbon oil)	
적점, °C	70~90	160~190	240~300	240-	240-
사용온도범위, °C	-20~60	-20~80	-20~120	-10~150	-250
허용회전수, %	40	70	70	70	40~100
기계적 안정성	불량	양호	양호	양호	양호
내압성	약함	강-중간	강-중간	중간	중간
내수성	양호	Na계는 불량	양호	양호	양호
방청성	양호	양-중간	양-중간	중간 - 불량	
비고	고점도의 광유를 기유로 하여 Soap 등의 극압 첨가제를 사용 한 Grease는 내압성이 크다.	대형 Ball Bearing, 구름 Bearing에 사용된다	내압성, 기계적 안정성이 크다	광유를 기유로 한 Grease는 일반용으로 사용되며, 합성 윤활유를 기유로한 Grease는 일반용 이외에 내열·내산· 알카리, 내방사능 등의 특수 용도에 사용할 수 있다.	

(3) 윤활유법에는 Bearing에 발생하는 마찰열을 Oil 즉 윤활유에 의해서 외부로 내보내 Bearing 온도상승을 떨어뜨린다.

(4) Grease 윤활법에는 외부의 먼지나 이물이 Bearing 가운데 침입하는 것을 방지한다.

(5) Bearing 표면을 유막으로 피복하여 녹발생을 방

표 3. 윤활유 선정표

운전온도(°C)	회전온도	경 또는 보통하중	중 또는 충격하중
-30~0	허용회전수까지	ISO VG 15, 22, 32(R)	-
	허용회전수의 1/2까지	ISO VG 32, 46 68(B.T)	ISO VG 48, 68, 100(B.T)
0~50	허용회전수까지	ISO VG 15, 22, 32(B.T)	ISO VG 22, 32, 46(B.T)
	허용회전수 이상	ISO VG 10, 15, 22(B)	-
	허용회전수의 1/2까지	ISO VG 100, 150, 220(B)	ISO VG 150, 220, 320(B.T)
	허용회전수까지	ISO VG 46, 68, 100(B.T)	ISO VG 68, 100, 150(B.T)
50~80	허용회전수 이상	ISO VG 32, 46, 68(B.T)	-
	허용회전수의 1/2까지	ISO VG 320, 460(B)	ISO VG 460, 680(B.G.)
	허용회전수까지	ISO VG 150, 220(B)	ISO VG 220, 320(B)
80~110	허용회전수 이상	ISO VG 68, 100(B.T)	-

비고 : 1. 허용회전수는 Bearing 수치법에 기재되어 있는 윤활유의 값을 말한다.
 2. "R"는 냉동기유(KS M 2128), "B"는 베어링유(KS M 2114), "T"는 터빈유(KS M 2120), "G"는 기어유(KS M 2127)이다.
 3. 본 표에서 좌측란에 표시한 온도 범위에서 운전온도가 높은 측의 경우는 고점도유를 사용한다.

표 4. 회전속도와 Bearing 하중에 의한 윤활법 선정표[9]

회전 하중	회전 (속 도) → 고		
	저		고
^ 小	-	-	적하윤활
	유막윤활	-	-
어 링	-	-	Oil mist 윤활
	-	순환윤활	-
V 大	Spring device 윤활	-	-
	-	-	Jet 윤활

5. 맺는말

지금까지 간략하게 표제에 관하여 살펴보았다. 금후, 첨단기술에 있어서 우주를 비롯하여 Mechanics, Green-room도 포함한 FA. OA 기기에서의 구름 Bearing 요구가 고도화함에 따라 Bearing내에 쓰여지는 윤활제의 요구 품질도 다양화 하여지고 있는 추세이다. 특히 저 Torque, 환경오염방지면에서 윤활제의 역할이 대단히 중요하여 함유(含油), 자기윤활보지기(自己潤滑保持器) 부착이 있는 것들은 무윤활 피막 Bearing 기술이 진보되고 있다. 그러나 일반산업용인 경우 대부분이 Bearing에 있어서는 냉각성, 공용성(共用性), 간편성, 신뢰성 등으로부터 금후에도 윤활유 Grease의 사용이 계속하여 지속되어 질 것으로 생각된다. 물론 Bearing에 병행하여 윤활제의 발전도 계속 지속되지 않으면 안되겠지만 우선 당면과 제에 있어서는 Bearing이 요구하고 있는 윤활제의 특징에 하나가 되고 있는 피로 등이 문제점으로 지적되어지고 있다. 따라서 기계설계자나 생산자 제위에서는 좀 더 전문성을 허심없이 나누고 이에 대처할 수 있는 지속적인 연구가 우리나라에도 정착되었으면 하는 바램이다.

지하고 구름 Bearing을 윤활하는 방법에는 Grease 윤활과 Oil 윤활, 즉 윤활유가 있다.

윤활유라고 하는 품질은 유막형성과 보수성이 양호하고 열방산도 가능한 것으로 Grease 윤활유보다 우수하다. 그러나 윤활유 system으로 보면 Grease 윤활은 급유장치와 밀봉장치의 값이 저렴하고, 운전 중 급유 때문에 소비하는 시간이 적기 때문에 경제적이다. 이와 같이 Grease를 윤활에 사용하는 것은 구름 Bearing에서의 특징 중에 하나가 되고 있다.

따라서 Grease 윤활채택의 검토로부터 윤활 System의 설계를 시작하는 것이 설계자들은 기본적으로 염두에 두어야 할 것이다.

참고적으로 표 1에서는 Grease 윤활과 Oil의 윤활의 비교를, 표 2에서는 일반적으로 사용하고 있는 Grease의 종류와 성질을, 표 3에서는 Bearing의 운전온도와 회전 속도에 윤활유 선정의 예를, 표 4에서는 회전속도와 Bearing 하중에 의한 각종 윤활법 선정의 방법을 나타내 보았다.

참 고 문 헌

1. 角田和雄 ; 潤滑, 32(7), p.48(1987).
2. 三木鑛雄 外 ; Koyo Engineering Journal, 118, p.1 (1973).
3. W.E. Littman, et al ; Trans. ASME, J. Lub. Tech., 98(2), p.308(1976).
4. F.G. Rounds ; ASLE Trans., 10(3), p.243(1963).
5. R.J. Parker ; Rolling Contact Fatigue Performance

- Testing of lubricants(R. Touurret. E.P. Wright ed.)
Heyden, London. p.281(1977).
6. W.M. Kacmarsky & L.O. Hewko ; Trans. ASME. F. 93(1), p.11(1971).
 7. 岡本純三 外 ; 轉 ガソ軸受-その特性と實用設計-, 幸書房, p.127(1981).
 8. E.H. Weigand ; Die Wälzlagerpraxis, 2 Auflage, R. oledenberg. p.183(1978).
 9. 金柱恒 ; 潤滑工學, -터빈엔진 및 구름베어링潤滑-, 韓國油化試驗檢査所, p.472(1990).